



**UNIVERSIDAD DE CUENCA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS**  
**ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA**

**TESIS PREVIO A LA  
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO QUÍMICO**

**TEMA:**

OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE MEZCLA DE ARCILLA PARA LA  
PRODUCCIÓN DE LADRILLOS, EN EL SECTOR ARTESANAL.

**AUTOR**

**Sara Fanny Álvarez Guerrero**

**DIRECTORA**

**Ing. Sandra Catalina Peñaherrera Palacios**

**Cuenca, Mayo 2014.**



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

### RESUMEN

Actualmente el sector artesanal ladrillero presenta problemas en su proceso de producción debido a la ancestral dosificación de materias primas involucradas para su fabricación, con el presente trabajo de graduación se obtuvo la proporción óptima de mezclado de arcillas arenosas y plásticas para la fabricación de ladrillos en el sector artesanal de Cuenca, misma que permiten que el producto terminado sea más barato y competitivo dentro del mercado industrial de la construcción.

En primer lugar se realizó un diseño experimental de mezclas por el método de mínimos cuadrados ordinarios obteniéndose modelos matemáticos de primer orden que describan el comportamiento de parámetros como el índice de plasticidad, absorción de agua, contracción al secado, contracción a la quema, contracción total en función de las proporciones de las arcillas que ingresan en la formulación del ladrillo, mismos que a través de programación lineal mediante el método gráfico proporcionaron el punto óptimo de mezclado, dando un ahorro \$130 por tonelada de materia prima. El índice de plasticidad fue obtenido experimentalmente mediante la aplicación de la norma ASTM D4318-95 casa grande, y para la contracción al secado, contracción a la quema, contracción total y absorción de agua se aplicaron métodos artesanales.

**Palabras Claves:** Dosificación, mezclas, arcillas



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

### ABSTRACT

Currently the brick artisanal sector presents problems in the production process due to ancestral dosage of raw materials involved in their manufacture, with graduation present work, we obtained the optimal mixing ratio of sandy clay and plastic for the manufacture of bricks in the artisanal sector Cuenca, same that allow the finished product is cheaper and competitive in the industrial construction market.

First experimental mixture design was performed by the method of ordinary least squares obtaining mathematical models of the first order that describe the behavior of parameters as the plasticity index, water absorption, shrinkage on drying, burning shrinkage, overall shrinkage depending on the proportions of clay in the formulation entering Brick same through linear programming using the graphical method, provided the optimum mixing, giving a saving \$ 130 per ton of raw material Plasticity index was obtained experimentally by applying the ASTM D4318-95 big house and drying shrinkage, contraction to burning, the total contraction and water absorption methods are applied artisan.

**Keywords:** Dosing, mixing, clays.



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

### ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	11
<b>CAPÍTULO 1</b>	
PROCESO DE FABRICACIÓN DE LADRILLO ARTESANAL EN EL CANTÓN CUENCA .....	13
1.1. ANTECEDENTES .....	13
1.2. DEFINICIÓN.....	13
1.3. GEOMETRÍA DE UN LADRILLO.....	14
1.4. CLASIFICACIÓN DEL LADRILLO.....	15
1.4.1. LADRILLO PERFORADO .....	15
1.4.2. LADRILLO MACIZO.....	15
1.4.3. LADRILLO REFRACTARIO .....	15
1.4.4. LADRILLO APLANTILLADO .....	15
1.4.5. LADRILLO HUECO.....	16
1.4.5.1. LADRILLO HUECO SIMPLE .....	16
1.4.5.2. LADRILLO HUECO DOBLE .....	16
1.4.5.3. 1LADRILLO HUECO TRIPLE.....	16
1.4.6. LADRILLO CARAVISTA .....	16
1.5. PROCESO DE FABRICACIÓN DE LADRILLOS ARTESANALES EN EL CANTÓN CUENCA .....	17
1.5.1. OBTENCIÓN DE LA MATERIA PRIMA .....	17
1.5.2. SELECCIÓN Y BATIDO DEL MATERIAL.....	18
1.5.3. MOLDEO DEL LADRILLO .....	21
1.5.4. EL PERFILADO O RASPADO DEL LADRILLO.....	23
1.5.5. SECADO DE LADRILLO.....	25
1.5.6. PROCESO DE QUEMA DEL LADRILLO ARTESANAL (PANELÓN) 27	
1.5.7. ENFRIAMIENTO Y DESCARGA DEL HORNO .....	31
1.5.8. ALMACENAMIENTO Y COMERCIALIZACIÓN .....	31



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

### CAPÍTULO 2

MATERIAS PRIMAS UTILIZADAS EN LA FABRICACIÓN DE LADRILLOS ARTESANALES .....	32
2.1. ARCILLA .....	32
2.1.1. PASTA DE ARCILLA .....	32
2.2. CARACTERÍSTICAS DE LA ARCILLA.....	33
2.3. CLASIFICACIÓN DE LAS ARCILLAS .....	33
2.3.1. ARCILLAS COMUNES .....	33
2.4. ACCIÓN DEL CALOR SOBRE LAS ARCILLAS.....	34
2.5. PROPIEDADES DE LAS ARCILLAS COMUNES .....	35
2.5.1. TAMAÑO DE LA PARTÍCULA .....	35
2.5.2. ESTADOS DE LA ARCILLA DURANTE EL SECADO .....	36
2.5.2.1. ESTADO PLÁSTICO .....	36
2.5.2.2. ESTADO CORIFICADA.....	36
2.5.2.3. ESTADO SECO .....	36
2.6. CUALIDADES ÚTILES DE LA ARCILLA.....	37
2.7. APLICACIONES DE LAS ARCILLAS ROJAS .....	38

### CAPÍTULO 3

DISEÑO EXPERIMENTAL DE MEZCLAS .....	39
3.1. DISEÑO DE EXPERIMENTOS .....	39
3.2. IMPORTANCIA DEL ESTUDIO.....	39
3.3. MEDICIÓN DE LOS EXPERIMENTOS .....	39
3.4. RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE ARCILLAS EN EL SECTOR LADRILLERO .....	41
3.5. ANÁLISIS QUÍMICO DE ARCILLAS EN EL SECTOR ARTESANAL ....	42
3.6. SELECCIÓN DEL DISEÑO EXPERIMENTAL.....	43
3.7. DISEÑO EXPERIMENTAL DE MEZCLAS .....	43
3.7.1. OBJETIVOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL DE MEZCLAS.....	44
3.7.2. GENERALIDADES DEL DISEÑO DE MEZCLA .....	44
3.7.3. TRATAMIENTOS.....	45
3.7.4. UNIDAD EXPERIMENTAL.....	45
3.7.5. FACTOR .....	45



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

3.7.6. NIVEL.....	46
3.7.7. INTERACCIÓN .....	46
3.8. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....	46
3.9. MATRICES PARA EL DESARROLLO DE LOS EXPERIMENTOS .....	47
3.9.1. MATRICES DE RESULTADOS DE LOS EXPERIMENTOS.....	51
3.10. MODELOS MATEMÁTICOS .....	54
3.10.1. MODELOS MATEMÁTICOS EN DISEÑO DE MEZCLAS .....	54
3.10.2. MODELO MATEMÁTICO PARA LA ABSORCIÓN DE AGUA .....	57
3.10.3. MODELO MATEMÁTICO PARA LA CONTRACCIÓN AL SECADO	59
3.10.4. MODELO MATEMÁTICO PARA LA CONTRACCIÓN A LA QUEMA	60
3.10.5. MODELO MATEMÁTICO PARA LA CONTRACCIÓN TOTAL .....	62
3.10.6. MODELO MATEMÁTICO PARA ÍNDICE DE PLASTICIDAD .....	63
3.11. ANÁLISIS DE EFECTOS SINÉRGICOS Y ANTAGÓNICOS .....	65
3.12. PROGRAMACIÓN LINEAL .....	66
3.12.1. FUNCIONES RESTRICTIVAS O RESTRICCIONES.....	66
3.12.2. LA FUNCIÓN OBJETIVO.....	66
3.12.3. SOLUCIÓN DEL PROBLEMA DE PROGRAMACIÓN LINEAL POR EL MÉTODO GRÁFICO .....	67
GRÁFICO OBTENIDO MEDIANTE OR COURSEWARE QUE MUESTRA EL PUNTO ÓPTIMO DE MEZCLA DE ARCILLAS .....	69
3.12.4. COSTOS OBTENIDOS MEDIANTE LA FUNCIÓN OBJETIVO .....	70
 <b>CAPÍTULO 4</b>	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	71
4.1. CONCLUSIONES.....	71
4.2. RECOMENDACIONES .....	72
 ANEXOS .....	 73



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

### INDICE DE TABLAS

TABLA 1. 1. Dimensiones de un ladrillo. ....	14
TABLA 3. 1 Muestras recolectadas en el sector ladrillero artesanal del cantón cuenca.....	41
TABLA 3. 2. Resultado del análisis químico de las arcillas en diferentes puntos del sector artesanal, para línea base. ....	42
TABLA 3. 3. Diseño de mezclas para las arcillas en el sector artesanal. ....	46
TABLA 3. 4. Absorción de agua de la mezcla de arcillas .....	48
TABLA 3. 5. Contracción al secado de la mezcla de arcillas.....	49
TABLA 3. 6. Contracción a la quema de la mezcla de arcillas .....	49
TABLA 3. 7. CONTRACCIÓN TOTAL DE LA MEZCLA DE ARCILLAS.....	50
TABLA 3. 8. ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LAS ARCILLAS.....	50
TABLA 3. 9. ABSORCIÓN DE AGUA DE LAS ARCILLAS.....	51
TABLA 3. 10. CONTRACCIÓN AL SECADO DE LAS ARCILLAS BAJO LA NORMA ASTM D4318-95 (CASA GRANDE).....	51
TABLA 3. 11. CONTRACCIÓN A LA QUEMA DE LAS ARCILLAS BAJO LA NORMA ASTM D4318-95 (CASA GRANDE).....	52
TABLA 3. 12. CONTRACCIÓN TOTAL DE LAS ARCILLAS BAJO LA NORMA ASTM D4318-95 (CASA GRANDE). ....	52
TABLA 3. 13. ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LAS ARCILLAS BAJO LA NORMA ASTM D4318-95 (CASA GRANDE).....	53
TABLA 3. 14. REGIONES SIMPLEX.....	54
TABLA 3. 15. DE REGRESIÓN LINEAL PARA ABSORCIÓN DE AGUA DE LA MEZCLA DE ARCILLAS.....	57
TABLA 3. 16. ESTADÍSTICAS DE LA REGRESIÓN PARA EL ANÁLISIS DE ABSORCIÓN DE AGUA.....	58
TABLA 3. 17. DE REGRESIÓN LINEAL PARA CONTRACCIÓN AL SECADO DE LA MEZCLA DE ARCILLAS. ....	59



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

TABLA 3. 18. ESTADÍSTICAS DE LA REGRESIÓN PARA LA CONTRACCIÓN AL SECADO.....	60
TABLA 3. 19. DE REGRESIÓN LINEAL PARA CONTRACCIÓN LA QUEMA DE LA MEZCLA DE ARCILLAS. ....	61
TABLA 3. 20. ESTADÍSTICAS DE LA REGRESIÓN PARA LA CONTRACCIÓN A LA QUEMA .....	61
TABLA 3. 21. DE REGRESIÓN LINEAL PARA CONTRACCIÓN TOTAL DE LA MEZCLA DE ARCILLAS.....	62
TABLA 3. 22. ESTADÍSTICAS DE LA REGRESIÓN PARA LA CONTRACCIÓN TOTAL.....	63
TABLA 3. 23. DE REGRESIÓN LINEAL PARA EL ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LA MEZCLA DE ARCILLAS. ....	64
TABLA 3. 24. ESTADÍSTICAS DE LA REGRESIÓN PARA EL ÍNDICE DE PLASTICIDAD.....	64
TABLA 3. 25. MODELOS MATEMÁTICOS DEL EXPERIMENTO .....	65
TABLA 3. 26. COSTOS DE ARCILLAS POR KILOGRAMO .....	66
TABLA 3. 27. VALORES DE LAS RESPUESTAS EXPERIMENTALES ENCONTRADAS CON OR COURSEWARE.....	68
TABLA 3. 28. AHORRO PRODUCIDO CON LA PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN. ....	70





## UNIVERSIDAD DE CUENCA

Yo, SARA FANNY ALVAREZ GUERRERO, autora de la tesis “OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE MEZCLA DE ARCILLA PARA LA PRODUCCIÓN DE LADRILLOS, EN EL SECTOR ARTESANAL”, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de INGENIERA QUÍMICA. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autora.

Cuenca, 15 de Mayo del 2014.

---

Sara Fanny Alvarez Guerrero  
C.I: 0105034946



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

Yo, SARA FANNY ALVAREZ GUERRERO, autor/a de la tesis “OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE MEZCLA DE ARCILLA PARA LA PRODUCCIÓN DE LADRILLOS, EN EL SECTOR ARTESANAL” certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 15 de Mayo de 2014.

---

SARA FANNY ALVAREZ GUERRERO  
C.I:0105034946



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

### INTRODUCCIÓN

*PROGRAMA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LADRILLERAS ARTESANALES DE AMÉRICA LATINA PARA MITIGAR EL CAMBIO CLIMÁTICO (EELA ECUADOR).*

### PROYECTO EELA ECUADOR

El Proyecto Eficiencia Energética en Ladrilleras Artesanales - EELA, promueve las mitigaciones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), considerando 4 aspectos:

***Tecnológico***, al mejorar la eficiencia de los factores y procesos productivos, la calidad e innovación de los productos.

***Económico***, al integrar a los pequeños productores en la cadena de valor, la mejora de sus costos, comercialización y precios.

***Ambiental***, al reducir el uso de combustibles por aplicación de mejoras prácticas, utilizar combustibles más eficientes y menos contaminantes.

***Social***, al fortalecer el trabajo asociativo, la equidad de género, la reducción del trabajo infantil, el incremento de asistencia escolar y la disminución de la incidencia de enfermedades por un proceso de trabajo inadecuado.

Por estas razones este trabajo busca evaluar a los sectores ladrilleros existentes en la región en el ámbito del proyecto EELA Ecuador. La contribución de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de América Latina es del orden del 12% en comparación con las emisiones a nivel mundial (EELA ECUADOR, 2010)

A pesar que la región posee un bajo nivel de emisiones en comparación con otras, es una de las más afectadas por el cambio climático encontrándose entre los países más perjudicados Perú y Ecuador.



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

La compra de ladrillos en el sector construcción se incrementa cada vez más en la región. En este aspecto, se ha determinado que la fabricación artesanal de ladrillos contribuye con el 13% de las emisiones totales de CO<sub>2</sub>. Considerando la dinámica económica actual, se proyecta que sus emisiones sigan una tendencia creciente (EELA ECUADOR, 2010)

A través del presente trabajo se busca facilitar la definición de posibles acciones del proyecto para la región, contemplando la designación de recursos y el establecimiento de esfuerzos, en la tentativa de proporcionar ganancias tecnológicas, ambientales y de gestión, además de establecer propuestas de políticas públicas que promuevan un crecimiento sustentable de las empresas y una mejoría de la calidad de vida de los trabajadores en el sector ladrillero artesanal de Cuenca, con vías a mejorar sus condiciones de vida y por otra parte minimizar los impactos ambientales que esta actividad artesanal conlleva.



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

### CAPÍTULO 1

## PROCESO DE FABRICACIÓN DE LADRILLO ARTESANAL EN EL CANTÓN CUENCA

### 1.1. ANTECEDENTES

Las innovaciones tecnológicas que se han sucedido desde la década de los cincuenta en Europa y Estados Unidos han marcado hoy en día un hito trascendente en el diseño y construcción de ladrillos alivianados que poco a poco se han ido incorporándose aproximadamente hace 28 años a la práctica artesanal en nuestra ciudad.

A pesar de los alcances que ha tenido esta actividad, a la fecha se puede todavía establecer el predominio de la fabricación de ladrillo artesanal con todo su proceso de elaboración que muy poco se ha modificado con el transcurso de los años, pero ya en la actualidad experimenta problemas de competitividad frente a procesos semi industriales e industriales que se van consolidando, dejando fuera numerosas familias dedicadas a la actividad ladrillera artesanal (Hispalty, 2013).

### 1.2. DEFINICIÓN

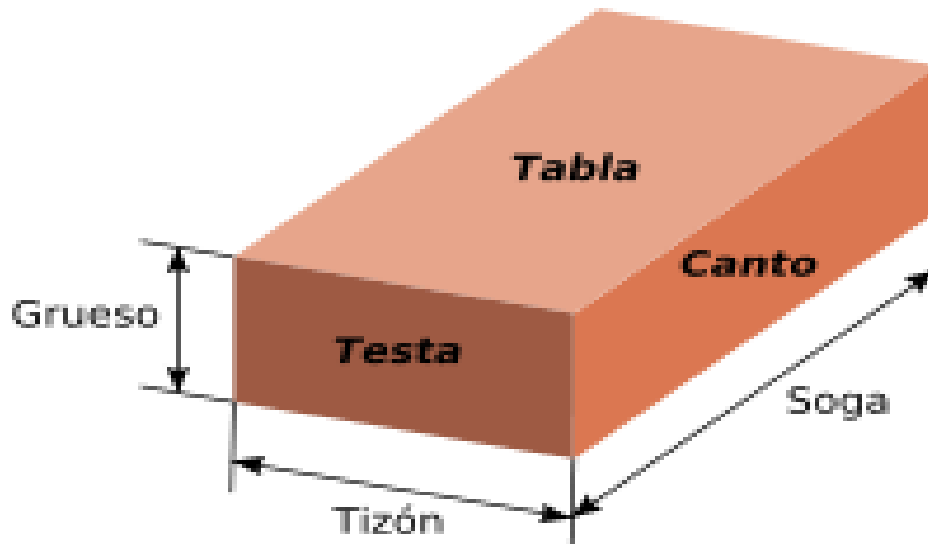
“Se conoce como ladrillo a un elemento de construcción, generalmente hecho con masa de barro cocida, que tiene forma de paralelepípedo<sup>1</sup> rectangular y que permite levantar muros y otras estructuras, cuyas dimensiones permiten que se puedan colocar con una sola mano por un operario(FLORES, 2012)”

---

<sup>1</sup>Paralelepípedo:Es un hexaedro con tres pares de caras paralelas.



### 1.3. GEOMETRÍA DE UN LADRILLO



**Figura 1. Esquema de un ladrillo artesanal.**

Fuente: [www.mundoceramico.com](http://www.mundoceramico.com)

Las dimensiones de un ladrillo serán las siguientes:

**TABLA 1. 1. Dimensiones de un ladrillo.**

Dimensión	Símbolo	Definición
Soga	S	Es la mayor dimensión de un ladrillo.
Tizón	T	Es la dimensión intermedia de un ladrillo.
Grueso	G	Es la menor dimensión de un ladrillo.

Fuente: La Autora.



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

### **1.4. CLASIFICACIÓN DEL LADRILLO**

La clasificación del ladrillo se realiza según la forma para la construcción que se disponga.

#### **1.4.1. LADRILLO PERFORADO**

Son todos los ladrillos que en la parte denominada tabla tienen perforaciones. Estas perforaciones ocupan más del 10% de la superficie misma y se utilizan en las fachadas de ladrillo (Nomenclatura de ladrillos, 2010).

#### **1.4.2. LADRILLO MACIZO**

Son aquellos ladrillos que en su tabla presentan menos del 10% de perforaciones. Algunos de estos ejemplares presentan rebajes en dichas tablas y en las testas siendo utilizados para arcos, bóvedas, chimeneas, pilares, etc.(Nomenclatura de ladrillos, 2010).

#### **1.4.3. LADRILLO REFRACTARIO**

Ladrillo de punto de fusión elevado apropiado para la construcción de hornos. Soporta altas temperaturas y se lo coloca también en lugares tales como chimeneas u hornos(Nomenclatura de ladrillos, 2010).

#### **1.4.4. LADRILLO APLANTILLADO**

Son los ladrillos que poseen un perfil curvo conformando una moldura corrida, es decir, que adquieran esta postura al colocar una hilera de ladrillo. El nombre proviene de las plantillas que utilizaban los canteros para labrar las piedras y que se utilizan para dar la citada forma al ladrillo(Nomenclatura de ladrillos, 2010).



## **UNIVERSIDAD DE CUENCA**

### **1.4.5. LADRILLO HUECO**

Los ladrillos huecos son aquellos que poseen perforaciones en la testa o en el canto lo que permite la reducción de su volumen y peso del material utilizado para su fabricación, facilitando de esta manera su manejo y también su corte.

Con perforaciones en testa y resistencia a compresión no menor de 30 kgf/cm<sup>2</sup>. Se denomina también tohana (Nomenclatura de ladrillos, 2010).

#### **1.4.5.1. LADRILLO HUECO SIMPLE**

Posee una hilera de perforaciones en la testa (Ladrilleros, 2010).

#### **1.4.5.2. LADRILLO HUECO DOBLE**

Con dos hileras de perforaciones en la testa (Nomenclatura de ladrillos, 2010).

#### **1.4.5.3. 1LADRILLO HUECO TRIPLE**

Posee tres hileras de perforaciones en la testa (Ladrilleros, 2010).

### **1.4.6. LADRILLO CARAVISTA**

Son todos los ladrillos que se usan para los exteriores de una construcción, por tener un acabado especial (Ladrilleros, 2010).





## UNIVERSIDAD DE CUENCA

### 1.5. PROCESO DE FABRICACIÓN DE LADRILLOS ARTESANALES EN EL CANTÓN CUENCA

Es muy conocido que los afloramientos de arcillas en la zona han sostenido la actividad artesanal de fabricación de ladrillos y tejas para cubrir la demanda de la construcción en la ciudad de Cuenca.

#### 1.5.1. OBTENCIÓN DE LA MATERIA PRIMA

La mayoría de las personas que trabajan en la fabricación de ladrillo y teja artesanal cuentan con reservas propias. La explotación de la materia prima es realizada de forma manual empleando herramientas como picos, palas y carretillas convencionales como se ilustra en la figura 2.



**Figura 2. Proceso de extracción manual de arcilla.**

Fuente: Proyecto EELA Ecuador.



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

Para el caso de las arcillas que son comercializadas, dada las volumetrías manejadas, necesariamente requieren de retroexcavadoras y volquetes más grandes. (Figura 3) (EELA, Ecuador, 2010).



**Figura 3. Extracción de arcillas con maquinaria pesada.**

**Fuente: Proyecto EELA Ecuador.**

### **1.5.2. SELECCIÓN Y BATIDO DEL MATERIAL**

Las arcillas deben ser reducidas a pequeñas partículas por lo que son disgregadas mediante herramientas manuales (picos, palas). Seguidamente se procede al retiro de pequeñas piedras o cualquier material extraño y simultáneamente son mezcladas con cantidades suficientes de agua y



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

colocadas en noques<sup>2</sup> para el batido, que se lo realiza mediante el pisoteo de animales (Figuras 4 y 5). En algunos casos el batido es realizado por pisoteo humano.

Normalmente el procesamiento de un lote de arcilla requiere una jornada de 6 a 8 horas de trabajo con pisoteo de animales.



**Figura 4. Proceso de batido con bueyes.**

Fuente: Proyecto EELA Ecuador

---

<sup>2</sup>Noque: Pequeño estanque o pozuelo en que se ponen a mezclar las materias primas.



## UNIVERSIDAD DE CUENCA



**Figura 5. Batido de la arcilla con caballos.**

**Fuente: Proyecto EELA Ecuador**

Actualmente el proyecto EELA-ECUADOR, recurriendo a las necesidades presentadas por pequeños productores, está proporcionando al artesano la ayuda de una batidora para facilitar el batido de arcilla, como se puede apreciar en la (Figura 6) (EELA ECUADOR, 2010).





## UNIVERSIDAD DE CUENCA



**Figura 6. Batidor de arcilla.**

Fuente: Proyecto EELA Ecuador

### 1.5.3. MOLDEO DEL LADRILLO

Una vez que la arcilla ha sido batida en el noque con la humedad correcta, es trasladada en carretillas al secadero. Se prepara el piso adicionando pequeñas cantidades de aserrín para que absorba los excedentes de agua (Figura 7). El uso del aserrín varía independientemente de un sector a otro. Se coloca los moldes de madera sobre el piso y por llenado se van conformando los ladrillos. En forma inmediata se procede a retirar el molde y repetir el proceso.



## UNIVERSIDAD DE CUENCA



**Figura 7. Arcilla batida lista para hacer el ladrillo.**

**Fuente: Proyecto EELA Ecuador**

Normalmente esta actividad es realizada por las mujeres de la familia con la ayuda de varones que se encargan del acarreo de la arcilla. El trabajo de una mujer puede alcanzar la conformación de unos 700 ladrillos por jornada (Ladrilleros, 2010).



## UNIVERSIDAD DE CUENCA



**Figura 8. Moldeo del ladrillo.**

**Fuente: Proyecto EELA Ecuador**

### **1.5.4. EL PERFILADO O RASPADO DEL LADRILLO**

Transcurrido unos 15 días aproximadamente o cuando la arcilla moldeada ha perdido la cantidad suficiente de humedad se realiza el raspado de los filos y caras del ladrillo con el filo de un machete o pedazo de madera de borde regular, eliminando de esta manera cualquier irregularidad presentada en el proceso, raspando entre 500 y 600 ladrillos en una jornada de trabajo de 8 horas generalmente este proceso lo realizan las mujeres o niños de la familia. (Figura 9).





## UNIVERSIDAD DE CUENCA



**Figura 9. Raspado del ladrillo.**

**Fuente: Proyecto EELA ECUADOR**

En la figura 10 podemos observar como el proceso de perfilado lo realizan los niños de los artesanos (EELA ECUADOR, 2010).





**Figura 10. Raspado de ladrillo actividad que realizan los niños o mujeres en su mayoría.**

**Fuente: Proyecto EELA ECUADOR**

#### **1.5.5. SECADO DE LADRILLO**

Esta fase tiene por objeto disminuir el contenido de humedad del material moldeado para evitar que se rompan al momento de la quema. El tiempo requerido para esta fase es muy variado, en algunos casos pueden permanecer hasta tres meses en el secadero cuando las condiciones ambientales no son favorables (en tiempo de invierno), o caso contrario de diez a quince días en clima propicio, dependiendo también de las características del secadero.



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

Los artesanos disponen de secaderos construidos, en los cuales se puede distinguir diferentes materiales de construcción como: soportes de ladrillo y techados de madera y teja, estructuras de madera y techados de zinc o estructuras de madera y plástico de invernadero que han resultado los más eficientes en el proceso de secado con el inconveniente de su poca duración (2 a 3 años en el mejor de los casos) (EELA ECUADOR, 2010).



**Figura 11. Secadero de ladrillo artesanal, con estructura de madera y plástico de invernadero.**

**Fuente: Proyecto EELA ECUADOR**



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

### 1.5.6. PROCESO DE QUEMA DEL LADRILLO ARTESANAL (PANELÓN)

El ladrillo crudo es sometido a la quema correspondiente una vez transcurrido el tiempo necesario para que haya perdido su alto contenido de humedad. El proceso se inicia con el acarreo y acomodado del ladrillo al interior del horno (figura 12), de tal manera que permita la circulación de la llama y los gases de combustión a través del material (figura 13).



**Figura 12. Traslado manual del material crudo hacia el horno de quema.**Fuente: Proyecto EELA ECUADOR



**Figura 13. Ladrillo artesanal colocado para la quema. Nótese los espacios para el flujo de calor y gases de combustión.**

**Fuente: Proyecto EELA Ecuador.**

Existen diferentes clases de hornos empleados para la quema de ladrillo en el sector artesanal. Entre ellos podemos mencionar hornos circulares, cuadrados, rectangulares y ovoideos.

El artesano emplea el mismo ladrillo crudo para tapar el borde superior del horno y lo revoca con barro para así aprovechar al máximo la carga y optimizar el calor, pudiendo obtener una quema de entre 8000 y 10000 ladrillos (EELA, Ecuador, 2010).





## UNIVERSIDAD DE CUENCA

Para la quema de los ladrillos el artesano requiere un tiempo que oscila entre 18 y 24 horas dependiendo de las condiciones climáticas y las características del combustible que utilizan. Por lo general requieren de tiempos de quema que varían entre las 18 y 20 horas (EELA, Ecuador, 2010).

El consumo de leña empleado en la quema de ladrillos se estima que es de 11 a 13 toneladas por metro cúbico (Ladrilleros, 2010).



**Figura 14. Horno listo para iniciar la quema.**

**Fuente: Proyecto EELA Ecuador**

Para dar inicio, los artesanos emplean maderas delgadas, ramas, hisopos embebidos con diésel, un pedazo de caucho de llanta, cartón u otros materiales de fácil combustión, siendo básicamente la leña de eucalipto la fuente de combustión.



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

En su fase inicial de quema, se realiza un atizado<sup>3</sup> de combustible en la boca de alimentación del horno con dos fines: en primer lugar se busca dar intensidad al fuego del horno y en segundo lugar lograr cierta ventaja en la quema del material que se encuentra sobre la boca de alimentación, caso contrario no les sería posible lograr una quema pareja del material colocado en la zona frontal del horno.



**Figura 15. Cierre de la boca del horno después de la carga de madera.**

**Fuente: Proyecto EELA ECUADOR**

---

<sup>3</sup>Atizado: Remover o alimentar el fuego para que arda más.



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

Cada 40 a 60 minutos se puede observar que el artesano realiza cargas de leña para poder obtener una quema homogénea. El flujo de calor no varía cuando la temperatura de quema ha sido alcanzada, misma que se estabiliza después de 4 a 5 horas dependiendo del horno.

Una vez culminada la quema se procede a sellar la boca de alimentación del combustible y el cenicero, utilizando ladrillo crudo y barro (Ladrilleros, 2010).

### **1.5.7. ENFRIAMIENTO Y DESCARGA DEL HORNO**

El enfriamiento del material puede durar hasta 10 días, luego de los cuales se procede a descargar el horno directamente al medio de transporte para evitar que se duplique los esfuerzos de carga y descarga, o puede permanecer cargado hasta la venta final (EELA ECUADOR, 2010).

### **1.5.8. ALMACENAMIENTO Y COMERCIALIZACIÓN**

Frecuentemente, el proceso de descarga del horno se la realiza directamente al camión de transporte por lo que no se dispone de espacios de almacenamiento del producto terminado. En cuanto a la comercialización, los artesanos mayoritariamente la realizan con personas negociantes del producto que se encargan del transporte final, sin descartar del posible negocio directo con el consumidor final (EELA ECUADOR, 2010).



**UNIVERSIDAD DE CUENCA**

## **CAPÍTULO 2**

### **MATERIAS PRIMAS UTILIZADAS EN LA FABRICACIÓN DE LADRILLOS ARTESANALES**

#### **2.1. ARCILLA**

“La arcilla es un silicoaluminato hidratado, es decir que desde el punto de vista químico está compuesto de silicio (Si) aluminio (Al) oxígeno (O) e hidrógeno (H). Los silicatos<sup>4</sup> forman el árbol genealógico de las arcillas” (MARTINEZ, 1990).

##### **2.1.1. PASTA DE ARCILLA**

La pasta de arcilla es un material particular utilizable en un contexto cerámico en donde se utiliza tal como se encuentra en la naturaleza. Para fabricar ladrillos, losetas<sup>5</sup>, rústicos, pocas arcillas pueden utilizarse en su estado natural, requiriendo un tratamiento. Una arcilla utilizable en estado natural puede llamarse pasta de arcilla, aunque es más común que dichas pastas sean una composición. Desde la antigüedad hasta nuestros días la mezcla de arcillas ha sido y es una práctica casi universal. Se hace para reducir las variaciones naturales y para modificar y mejorar algún aspecto del material bruto y hacerlo más competente para el resultado que se desea. Así podemos decir que la pasta de arcilla es una mezcla de arcilla, agua, e ingredientes susceptibles de ser quemados, que sirve para la fabricación de ladrillos (VITTEL, 1978).

---

<sup>4</sup> Silicatos: Constituyen más del 95% de la corteza terrestre, que forman las rocas. Todos los silicatos están compuestos por silicio y oxígeno.

<sup>5</sup> Loseta: Es una placa delgada de cerámica para recubrimiento de pisos.





## UNIVERSIDAD DE CUENCA

### 2.2. CARACTERÍSTICAS DE LA ARCILLA

En todo el mundo existen yacimientos de arcilla utilizables en alfarería y cerámica, mismos que están distribuidos uniformemente y presentan características diferentes para poder producir diferentes objetos.

Estás características son:

- Material de estructura laminar.
- Sumamente higroscópico.
- Su masa se expande con el agua.
- Con la humedad se reblandece y se vuelve plástica.
- Al secarse su masa se contrae en un 10% aproximadamente (Martinez, 1990)
- Adquiere gran dureza al ser sometida a temperaturas mayores entre 800°C y 900°C (MARTINEZ, 1990)
- Generalmente se le encuentra mezclada con materia orgánica (MARTINEZ, 1990).

### 2.3. CLASIFICACIÓN DE LAS ARCILLAS

Las arcillas pueden clasificarse según su color, su temperatura de cocción, sus propiedades plásticas, su porosidad después de la cocción, su composición química, etc.(MARTINEZ, 1990).

En este capítulo nos vamos a referir a las arcillas utilizadas en la fabricación de materiales de construcción (ladrillería y tejas).

#### 2.3.1. ARCILLAS COMUNES

Existe una infinidad de arcillas comunes que pueden ser utilizadas para una pasta de arcilla. Algunas de éstas las utilizan para hacer ladrillos, losetas de cerámica, tubos de alcantarillados, etc. Hay que distinguir que en este tipo de arcillas, unas serán de muy buena calidad y otras tan refractarias que



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

tendrán que ser sometidas a un análisis químico para poder determinar con qué clase de arcilla se pretende trabajar. La mayoría de estas arcillas se encuentran en la naturaleza de color marrón rojizo.

Para poder ser manipuladas con facilidad se las cierne para eliminar piedras y restos de vegetales con los que siempre viene acompañada. Una vez que se ha separado la arcilla de estos elementos es mezclada con otras arcillas o con materiales no arcillosos, resultando pastas diferentes de las compuestas con caolín, o con arcilla plástica.

Las arcillas utilizadas para ladrillo son generalmente de bajo costo, estas arcillas al ser sometidas al fuego adquieren un color rojo, por la presencia de un 5% o más de óxido de hierro (BENNETT, 1986)

El valor de estas arcillas está estrechamente relacionado con sus composiciones mineralógicas y químicas. La presencia de otros minerales o impurezas de sales solubles restringen sus usos, las más comunes son cuarzo, carbonatos, óxido de hierro, sulfatos y feldespato.

Estas arcillas, conocidas también como arcillas rojas, son de alta fusibilidad son plásticas y su composición es muy variable; se usan a temperatura comprendidas entre 900°C y 1050°C, contienen grandes cantidades de carbonato cálcico y óxidos de Hierro (BENNETT, 1986)

### 2.4. ACCIÓN DEL CALOR SOBRE LAS ARCILLAS

- La primera eliminación parcial del agua se da a los 100°C, a esta temperatura conserva la propiedad de dar masas plásticas<sup>6</sup>.
- Entre 300°C y 400°C es liberada el agua llamada de combinación, pierde la propiedad de dar masas plásticas.
- Con una temperatura entre 600°C y 700°C el agua en la arcilla es totalmente eliminada.

---

<sup>6</sup> Masa plástica: Arcilla moldeable.



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

- Por la acción del calor entre 800°C y 900°C adquiere propiedades como dureza y contracción, la sílice y alúmina empiezan a formar un silicato anhidro.
- Esta combinación se completa al parecer entre los 900°C y 1100°C (BENNETT, 1986).

### 2.5. PROPIEDADES DE LAS ARCILLAS COMUNES

Las propiedades de las arcillas comunes están influenciadas con variables como: granulometría, composición global, fracción de arcilla, etc. En función de la utilización de las arcillas se puede considerar dos tipos de propiedades:

a.-Las que influyen en el comportamiento durante la fabricación:

*Plasticidad*, afectada por el tipo de mineral de la arcilla, tamaño de la partícula, porcentaje y tipo de los minerales no arcillosos etc.

*Propiedades de secado y cocción* (resistencia mecánica, contracción de las piezas, rango de temperatura) afectadas también por la mineralogía y tamaño de grano.

De las propiedades nombradas la más importante es la temperatura de vitrificación, ya que cuando se supera un valor límite el producto final es un vidrio, no utilizable en la industria.

b.- Las propiedades de productos acabados, resistencia mecánica en cocido, eflorescencia, permeabilidad, etc.(GALÁN, 1990).

#### 2.5.1. TAMAÑO DE LA PARTÍCULA

Esde mucha importancia esta característica, ya que influye en las propiedades de la arcilla como son plasticidad y secado.

Las arcillas de grano fino se caracterizan por absorber un alto contenido de agua, estás arcillas tienden a disminuir sus dimensiones al secarse y son muy plásticas (GALÁN, 1990).



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

### 2.5.2. ESTADOS DE LA ARCILLA DURANTE EL SECADO

Los estados de la arcilla durante el secado son tres: plástico, corificada<sup>7</sup> y seco. Estos estados son graduales desde la forma maleable hasta su firmeza.

#### 2.5.2.1. ESTADO PLÁSTICO

Plasticidad es una característica de las arcillas que le permite ser moldeada y retener la forma sin deformarse, en este estado plástico las arcillas son muy manejables, se puede mezclar dos pastas amasándolos con poco esfuerzo. Este está compuesto por fases definidas como la cohesión, donde se forma una masa que no se pega a las manos al trabajarla. La siguiente fase se denomina semiplasticidad, en esta fase la arcilla se comporta de una manera más firme y es en donde se le da forma. La última fase denominada fase de plasticidad firme, es posible adelgazar una capa de arcilla, pero se agrieta por los bordes (VITTEL, 1978)

#### 2.5.2.2. ESTADO CORIFICADA

Se conoce como arcilla corificada aquella que en la naturaleza tiene una dureza un tanto elevada y no puede ser manejada por medios plásticos. Una manera de reconocer este tipo de arcillas es pasando la uña por su superficie, ya que esta quedará marcada. También se pueden reconocer cuando oponen resistencia a la hoja de un cuchillo en su superficie, de tal modo que lo único que podemos obtener o sacar es virutas largas con un poco más de esfuerzo (VITTEL, 1978).

#### 2.5.2.3. ESTADO SECO

El estado seco se identifica por sí solo, si se aprieta firmemente la pasta con la uña esta se desmorona en vez de marcarse. Pero esta sequedad puede ser engañosa por que la arcilla nunca es más seca que el aire que la rodea,

---

<sup>7</sup>Corificada: Dureza media, que presenta la arcilla, durante el secado



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

aunque haya estado secándose durante mucho tiempo. En una fase inicial de cocción mal calculada, la arcilla seca puede explotar y fragmentarse porque está todavía húmeda. La desecación de la pasta, la eliminación de toda el agua que contiene, solo se consigue por el calor (VITTEL, 1978)

### 2.6. CUALIDADES ÚTILES DE LA ARCILLA

Las cualidades que presentan las arcillas son dos: la plasticidad que es la deformación en varias maneras de la arcilla y ésta después de manipularla sigue conservando dicha deformación y la segunda es la conservación de la forma a la temperatura de cocción prevista.

La plasticidad no es una cualidad que tengan por igual todas las pastas arcillosas ni es uniforme de una pasta a otra. La plasticidad varía entre una arcilla y otra, cualitativamente y cuantitativamente.

Cuantitativamente, las pastas blancas que se cuecen son a base de caolín, relativamente poco plástico y suelen tener menos plasticidad que las pastas que salen pardas o rojas del horno, con base de arcilla plástica o común.

Cualitativamente, el grado de plasticidad de una pasta puede variar mucho según como se trabaje. Algo parecido les sucede a otras arcillas comunes que, aunque tienen buena plasticidad, no se puede predecir cómo van a reaccionar a la cocción.

Algunas formas imponen más exigencias al material que otras ya que dependen del tiempo de cocción, la atmósfera y temperatura del horno que son factores importantes, para esta cualidad de las arcillas.

Las cualidades físicas y visuales de la arcilla cocida se pueden modificar manipulando la pasta, lo que puede alterar su plasticidad. Existe una relación compleja entre la facilidad de una pasta para ser trabajada y la aptitud para cocerse bien y cualquier cambio que se haga en una de las dos cualidades siempre afecta a la otra en alguna medida (VITTEL, 1978).



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

### 2.7. APLICACIONES DE LAS ARCILLAS ROJAS

Las arcillas rojas tienen aplicación fundamentalmente en la cerámica industrial (pavimentos, revestimientos, etc.) y alfarería (tejas, ladrillos).



**UNIVERSIDAD DE CUENCA**

## **CAPÍTULO 3**

### **DISEÑO EXPERIMENTAL DE MEZCLAS**

#### **3.1. DISEÑO DE EXPERIMENTOS**

“El diseño de experimentos consiste en planear y realizar un conjunto de pruebas con el objetivo de generar datos que, al ser analizados estadísticamente, proporcionen evidencias objetivas que permitan responder a las interrogantes planteadas por el experimentador sobre determinada situación” (GUTIÉRREZ, 2008).

#### **3.2. IMPORTANCIA DEL ESTUDIO**

La importancia de este estudio de optimización de la mezcla de arcillas que ingresan en la formulación del ladrillo panelones proporcionar a los artesanos ladrilleros recomendaciones básicas para mejorar su producto terminado, así como promover un crecimiento sustentable con vías a mejorar sus condiciones de vida y su situación económica.

#### **3.3. MEDICIÓN DE LOS EXPERIMENTOS**

Actualmente en el sector artesanal la mezcla de arcillas para la fabricación de ladrillos es de 60% de arcilla arenosa y 40% de arcilla plástica siendo esta mezcla una de las posibles causas de la mala calidad del ladrillo como por ejemplo: fisuras, mal cocido, color no uniforme entre otros factores que afectan el producto terminado por una dosificación no adecuada (GUTIÉRREZ, 2008)]. Con esta investigación determinaremos la mezcla óptima para tener un ladrillo de calidad.

El primer aspecto clave, es poder determinar las proporciones adecuadas de arcilla arenosa y arcilla plástica necesaria para la fabricación de un ladrillo artesanal. La medición experimental la hemos realizado con pruebas de



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

absorción de agua, índice de plasticidad, contracción al secado, contracción a la quema, y contracción total, a nivel de laboratorio. Cabe resaltar que en este aspecto el experimento de contracción a la quema se ha realizado en un ciclo de quema de 20°C hasta los 900°C durante 3 horas y cuando ha alcanzado los 900°C se la ha mantenido por un tiempo de 2 horas.



**Figura 16. Mala cocción de ladrillos.**

Fuente: <http://2.bp.blogspot.com>

Como se puede observar en la figura 16 un producto terminado no uniforme en su cocción da al artesano pérdidas económicas al no poder ser vendidos.





## UNIVERSIDAD DE CUENCA

### 3.4. RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE ARCILLAS EN EL SECTOR LADRILLERO

Se realizó la recolección de arcillas en diferentes puntos ladrilleros en el Sector Artesanal de Cuenca, entre ellos: Sinincay, San José de Balzay, La Dolorosa, Racar, Tixán, con el objetivo de proporcionar información base de un análisis químico para la determinación de los experimentos.

**TABLA 3. 1 Muestras recolectadas en el sector ladrillero artesanal del cantón cuenca.**

MUESTRA	NÚMERO	CÓDIGO	CANTIDAD	SECTOR	CANTÓN
1	A	01PTm	3Kg.	Tixán	Cuenca
2	A1	02PTm	3Kg.	Tixán	Cuenca
3	B	01RRc	3Kg.	Racar	Cuenca
4	B	02RRc	3Kg.	Racar	Cuenca
5	C	01CBm	3Kg.	Balzay	Cuenca
6	D	01DCm	3Kg.	La dolorosa	Cuenca
7	Mz	01RRc1	3Kg.	Racar	Cuenca
8	Mz	01CBm1	3Kg.	San José	Cuenca

Fuente: La Autora

Los códigos 01PTm, 02PTm, 01RRc, 02RRc, 01CBm, 01DCm, pertenecen a muestras puras de arcilla de minas propias del artesano, ubicadas en Tixán, Racar, Balzay y La Dolorosa de Sinincay respectivamente.

Las muestra 01RRc1 y 01CBm1 son una mezcla de arcillas de minas propias del artesano, ubicadas en el Sector Racar, y San José de Balzay del Cantón Cuenca, respectivamente.



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

### 3.5. ANÁLISIS QUÍMICO DE ARCILLAS EN EL SECTOR ARTESANAL

El análisis químico de cada arcilla ha sido realizado en el laboratorio de la Universidad Central de Quito, Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental mediante ensayos como: fusión con hidróxidos, extracción ácida, lectura en absorción atómica. Para la Sílice y pérdidas al fuego se efectuó análisis gravimétrico. Estos resultados dan una línea base.

**TABLA 3. 2. Resultado del análisis químico de las arcillas en diferentes puntos del sector artesanal, para línea base.**

	MUESTRAS PARA LÍNEA BASE								
Análisis Químico	A01PTm	A02PTm	B01RRc	B02RRc	C01CBm	D01DCm	Mz01RRc1	Mz01CBm1	LIMITES ADMISIBLES
SiO <sub>2</sub>	65,1	57,2	61	53	58	59,3	57,6	58,3	50-60%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,62	20,17	16,26	23,34	20,13	16,92	22,27	21,14	20-30%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,09	10,39	14,35	8,27	10,95	11,93	8,85	<7%	
MgO	0,16	0,07	0,14	0,27	0,15	0,28	0,16	<1%	
Na <sub>2</sub> O	0,67	0,3	0,38	0,19	0,15	1,47	0,36	0,77	<10%
K <sub>2</sub> O	2,7	0,46	1,53	0,74	1,79	0,98	1,35	1,7	<10%
CaO	0	0	0	0	0	0	0	0	10%
SO <sub>3</sub>	0,06	0,03	0,06	0	0,04	0,05	0,01	0,01	1%
PF	5,52	11,3	6,17	14,1	8,68	8,95	9,32	10,7	
% total	99,92	99,92	99,89	99,91	99,89	99,88	99,92	99,91	
Humedad	6,31	14,4	13,6	14,2	26,1	16,3	5,16	5,77	

Fuente: Universidad Central de Quito, Laboratorio LABFIGEMPA, análisis realizado por el químico Gabriel Cevallos González.

Fuente: Límites admisibles, Paraninto S.A. Madrid 1978.

Entre un sector ladrillero artesanal y otro, el resultado del análisis químico nos indica que no existe mucha diferencia en sus valores porcentuales por lo que se optó por trabajar en un solo sector y luego estos resultados mantenerlos en los sectores artesanales restantes.



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

### 3.6. SELECCIÓN DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

Para la selección del tipo adecuado de diseño experimental es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos (Diseño Experimental de Mezclas, 2008).

1. El objetivo del experimento.
2. El número de factores a estudiar.
3. El número de niveles que se prueban en cada factor.
4. Los efectos que interesa investigar (relación factores-respuesta).
5. El costo del experimento, tiempo y precisión dada.

El objetivo de este estudio experimental es conocer el efecto combinado de dos variables (masa de arcilla plástica y arenosa). Estas variables no actúan individualmente y están relacionadas mediante una función de proporcionalidad, por lo que un diseño factorial no cabe. Por tanto es necesario tomar en cuenta esta función, siendo el único diseño capaz de soportar estos efectos combinados un diseño de mezclas.

### 3.7. DISEÑO EXPERIMENTAL DE MEZCLAS

Una mezcla está compuesta por dos o más componentes, teniendo en cuenta que la proporción de estos componentes no son independientes unos de otros. En este diseño experimental las proporciones de los componentes de la mezcla pueden ser considerados como factores. En el dominio experimental las respuestas al ser observadas o medidas están relacionadas con las proporciones de los componentes mediante la siguiente ecuación (Diseño Experimental de Mezclas, 2008).

$$\text{Respuesta(s)} = f(\text{proporción de los componentes}) \quad (3.1)$$



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

### 3.7.1. OBJETIVOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL DE MEZCLAS

Existen cinco objetivos generales que se pretende conseguir al aplicar este diseño:

1. Usar el modelo para ganar percepción de cómo y porque los componentes de la mezcla se comportan de una manera determinada.
2. Usar el modelo para determinar la composición(es) de la mezcla en donde la respuesta está cerca de un máximo o un mínimo o un valor deseable. En este caso el modelo se usa como una herramienta predictiva.
3. Usar el modelo para determinar la composición(es) de la mezcla en donde el efecto de mezclado presenta un valor mínimo de error.
4. Usar el modelo para determinar la composición(es) de la mezcla en donde los efectos de variables externas incontrolables, tal como la temperatura y la humedad, son minimizables.
5. A partir de la información obtenida, encontrar un modelo matemático que prediga el comportamiento del sistema y que sirva en un futuro para ensayos de optimización (GUTIERREZ, 2008).

### 3.7.2. GENERALIDADES DEL DISEÑO DE MEZCLA

Una característica importante en este tipo de diseño es que los factores independientes o controlables (masa de arcillas), representan proporciones de la mezcla. Estas proporciones deben ser no-negativas y se expresan como fracciones de la mezclas, sumando todas éstas la unidad (THOMPSON,W y MIERS, 1968).

Si hacemos que  $q$  represente al número de ingredientes de un sistema y si representamos la proporción de cada componente  $i$  en la mezcla por  $X_i$ , entonces se tiene (THOMPSON,W y MIERS, 1968):

$$X_i \geq 0 \quad i=1,2,3,\dots,q$$



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

Lo que significa que debemos contar con componentes mayores a cero.

$$\sum_{i=1}^q X_i = 1 \quad (3.2)$$

Es decir la *suma de todas las proporciones* expresadas en fracciones deberá *sumar la unidad*. Si alguna proporción *suma* la unidad de forma individual estaremos trabajando con una mezcla llamada *mezcla pura*. Si *suma* la unidad una parte de la proporción A y una parte de la proporción B estaremos trabajando con una *mezcla combinada*.

En un problema general de mezclas, la respuesta que es medida se representa por medio de una función que depende de las proporciones de los ingredientes presentes en la mezcla y no depende de la cantidad de mezcla (THOMPSON, W y MIERS, 1968).

### 3.7.3. TRATAMIENTOS

“Son el conjunto de circunstancias o hechos creados para el experimento, en respuesta a la hipótesis de investigación y son el centro de la misma” (GUTIÉRREZ, H. y SALAZAR, R., 2008).

### 3.7.4. UNIDAD EXPERIMENTAL

“La unidad experimental es la entidad física o el sujeto expuesto al tratamiento independientemente de otras unidades” (GUTIÉRREZ, H. y SALAZAR, R., 2008).

### 3.7.5. FACTOR

“Son las variables que se investigan en el experimento, para observar cómo afectan o influyen, en la variable respuesta” (GUTIÉRREZ, H. y SALAZAR, R., 2008).



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

### 3.7.6. NIVEL

“Son los diferentes valores que se asignan a cada factor estudiado en un diseño experimental” (GUTIÉRREZ,H. y SALAZAR,R., 2008).

### 3.7.7. INTERACCIÓN

Se dice que existe una interacción entre dos factores o más cuando la relación natural entre la variable de respuesta y un nivel de un factor es influenciada por un nivel de uno o más factores (GUTIÉRREZ,H. y SALAZAR,R., 2008).

## 3.8. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Se mezclan las arcillas plásticas con las arcillas arenosas de acuerdo al diseño experimental de mezclas como nos indica la ecuación (3.1) y (3.2).

**TABLA 3. 3. Diseño de mezclas para las arcillas en el sector artesanal.**

MEZCLAS	ARCILLA PLÁSTICA	ARCILLA ARENOSA	MEZCLA DE ARCILLA
A	100	0	Mezcla Pura
B	0	100	Mezcla Pura
C	80	20	Mezcla Combinada
D	20	80	Mezcla Combinada
E	60	40	Mezcla Combinada
F	40	60	Mezcla Combinada

Fuente: La Autora.

Para que un diseño adecuado de mezclas funcione, se debe tener representatividad de todo el dominio experimental. La mejor forma de hacerlo es escogiendo proporciones de los componentes uniformemente espaciados, de tal manera que las proporciones abarquen valores desde 0 al 100%. Esto



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

cumple con los requerimientos del método simplex, que se explicará posteriormente.

### 3.9. MATRICES PARA EL DESARROLLO DE LOS EXPERIMENTOS

Como se mencionó anteriormente, las variables controlables en este diseño experimental de mezclas serán las masas de arcillas tanto plástica como arenosa. La masa que constituye el 100% de la mezcla será de 3kg según recomendaciones del laboratorio. Las respuestas a medir en este experimento serán: Absorción de agua, Contracción al secado, Contracción a la quema, Contracción Total e índice de Plasticidad, que se definen a continuación:

**a) CONTRACCIÓN AL SECADO:** Las piezas de arcillas durante el proceso de secado sufren un encogimiento, debido a la pérdida de humedad, éste al desalojar el agua de la arcilla húmeda, el volumen de la pieza se contrae. La contracción al secado va a depender de la cantidad de agua y de la plasticidad de los materiales que contenga la pasta (SINGER,Felix.y SINGER,Sonia).

**b) CONTRACCIÓN A LA QUEMA:** Se da durante el proceso de cocción y está relacionada con la cantidad de pasta para vitrificarse (SINGER,Felix.y SINGER,Sonia).

**c) CONTRACCIÓN TOTAL:** Es la suma de la contracción al secado y la contracción a la quema(SINGER,Felix.y SINGER,Sonia).

**d) ÍNDICE DE PLASTICIDAD:** Con el índice de plasticidad puede evaluarse el grado de amasado que permite la arcilla mientras se encuentre su consistencia plástica. La plasticidad es una propiedad característica de las arcillas finas, donde el contenido de humedad de las arcillas está comprendido entre el límite líquido y plástico.

Limite líquido: Es el contenido de humedad límite que tiene el suelo (arcillas) al pasar del estado líquido al plástico.

Limite plástico: Es el contenido de humedad límite que tiene el suelo (arcillas) para pasar del estado plástico al semisólido (NORMA,Astm D4318-95).



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

**e) ABSORCIÓN DE AGUA:** Expresa en porcentaje (%) el aumento de peso que experimenta un material sólido al ser sumergido en agua, referido al peso del material seco (SINGER, Felix. y SINGER, Sonia).

Como se puede observar, estas respuestas experimentales son de naturaleza diferente y por lo tanto requerirán un modelo matemático individual para poder describir los efectos de las proporciones de los componentes sobre éstas. Con estas consideraciones se presentan las siguientes matrices de los experimentos:

**TABLA 3. 4. Absorción de agua de la mezcla de arcillas**

EXPERIMENTO	MASA DE ARCILLA PLÁSTICA (kg)	MASA DE ARCILLA ARENOSA (kg)	ABSORCIÓN DE AGUA Ya (%)
A	100	0	Ya1
B	0	100	Ya2
C	80	20	Ya3
D	20	80	Ya4
E	60	40	Ya5
F	40	60	Ya6

Fuente: La Autora.





## UNIVERSIDAD DE CUENCA

**TABLA 3. 5. Contracción al secado de la mezcla de arcillas**

EXPERIMENTO	MASA DE ARCILLA PLÁSTICA (kg)	MASA DE ARCILLA ARENOSA (kg)	CONTRACCIÓN AL SECADO Yb (%)
A	100	0	Yb1
B	0	100	Yb2
C	80	20	Yb3
D	20	80	Yb4
E	60	40	Yb5
F	40	60	Yb6

Fuente: La Autora

**TABLA 3. 6. Contracción a la quema de la mezcla de arcillas**

EXPERIMENTO	MASA DE ARCILLA PLÁSTICA (kg)	MASA DE ARCILLA ARENOSA (kg)	CONTRACCIÓN A LA QUEMA Yc (%)
A	100	0	Yc1
B	0	100	Yc2
C	80	20	Yc3
D	20	80	Yc4
E	60	40	Yc5
F	40	60	Yc6

Fuente: La Autora.



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

**TABLA 3. 7. Contracción total de la mezcla de arcillas**

EXPERIMENTO	MASA DE ARCILLA PLÁSTICA (kg)	MASA DE ARCILLA ARENOSA (kg)	CONTRACCIÓN TOTAL Yd (%)
A	100	0	Yd1
B	0	100	Yd2
C	80	20	Yd3
D	20	80	Yd4
E	60	40	Yd5
F	40	60	Yd6

Fuente: La Autora

**TABLA 3. 8. índice de plasticidad de las arcillas**

EXPERIMENTO	MASA DE ARCILLA PLÁSTICA (kg)	MASA DE ARCILLA ARENOSA (kg)	ÍNDICE DE PLASTICIDAD Yf (%)
A	100	0	Yf1
B	0	100	Yf2
C	80	20	Yf3
D	20	80	Yf4
E	60	40	Yf5
F	40	60	Yf6

Fuente: La Autora.



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

### 3.9.1. MATRICES DE RESULTADOS DE LOS EXPERIMENTOS

De los análisis de laboratorio se obtuvieron los siguientes resultados en un ciclo de quema de 20°C hasta los 900°C durante 3 horas y cuando ha alcanzado los 900°C se la ha mantenido por un tiempo de 2 horas.

**TABLA 3. 9. Absorción de agua de las arcillas**

EXPERIMENTO	MASA DE ARCILLA PLÁSTICA (kg)	MASA DE ARCILLA ARENOSA (kg)	ABSORCIÓN DE AGUA Ya (%)
A	3	0	17,43
B	0	3	15,79
C	2,4	0,6	15,93
D	0,6	2,4	15,06
E	1,8	1,2	15,53
F	1,2	1,8	15,79

Fuente: La Autora.

**TABLA 3. 10. Contracción al secado de las arcillas bajo la norma astm d4318-95 (casa grande).**

EXPERIMENTO	MASA DE ARCILLA PLÁSTICA (kg)	MASA DE ARCILLA ARENOSA (kg)	CONTRACCIÓN AL SECADO Yb (%)
A	3	0	6,75
B	0	3	7,05
C	2,4	0,6	7,60
D	0,6	2,4	7,10
E	1,8	1,2	7,50
F	1,2	1,8	7,25

Fuente: La Autora.



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

**TABLA 3. 11. Contracción a la quema de las arcillas bajo la norma astm d4318-95 (casa grande).**

EXPERIMENTO	MASA DE ARCILLA PLÁSTICA (kg)	MASA DE ARCILLA ARENOSA (kg)	CONTRACCIÓN A LA QUEMA Y <sub>c</sub> (%)
A	3	0	<b>0,16</b>
B	0	3	<b>0,00</b>
C	2,4	0,6	<b>0,03</b>
D	0,6	2,4	<b>0,05</b>
E	1,8	1,2	<b>0,00</b>
F	1,2	1,8	<b>1,08</b>

Fuente: La Autora.

**TABLA 3. 12. Contracción total de las arcillas bajo la norma astm d4318-95 (casa grande).**

EXPERIMENTO	MASA DE ARCILLA PLÁSTICA (kg)	MASA DE ARCILLA ARENOSA (kg)	CONTRACCIÓN TOTAL Y <sub>d</sub> (%)
A	3	0	<b>6,90</b>
B	0	3	<b>7,05</b>
C	2,4	0,6	<b>7,63</b>
D	0,6	2,4	<b>7,15</b>
E	1,8	1,2	<b>7,50</b>
F	1,2	1,8	<b>8,25</b>

Fuente: La Autora.



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

**TABLA 3. 13. Índice de plasticidad de las arcillas bajo la norma astm d4318-95 (casa grande).**

EXPERIMENTO	MASA DE ARCILLA PLÁSTICA (kg)	MASA DE ARCILLA ARENOSA (kg)	ÍNDICE DE PLASTICIDAD Y <sub>p</sub> (%)
A	3	0	5,54
B	0	3	7,22
C	2,4	0,6	6,59
D	0,6	2,4	5,60
E	1,8	1,2	8,59
F	1,2	1,8	10,40

Fuente: La Autora.

Gráficamente se observa en la Figura 17 las muestras obtenidas después de realizar las experimentaciones en el laboratorio:



**Figura 17. Material obtenido, después de la experimentación en el laboratorio.**

Fuente: La Autora



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

### 3.10. MODELOS MATEMÁTICOS

#### 3.10.1. MODELOS MATEMÁTICOS EN DISEÑO DE MEZCLAS

Para poder relacionar las respuestas experimentales con las variables controlables, se necesita de un modelo matemático.

Para tener una percepción de esto es necesario saber que geométricamente los componentes se representan por un simplex de dimensión  $q-1$  donde  $q$  es el número de componentes que intervienen en la mezcla. Un Simplex consiste de  $q$  puntos establecidos con el siguiente criterio: las proporciones que asumen cada uno de los puntos son los  $m+1$  valores igualmente espaciados entre 0 y 1. Es decir, aplican todas las mezclas posibles de las proporciones indicadas en la ecuación siguiente:

$$X_i = 0, \frac{1}{m}, \frac{2}{m}, \dots, 1 \quad \text{para } i=1,2,3,\dots,q.$$

En esta investigación,  $m=5$  resultando las siguientes proporciones: 0, 1/5, 2/5, 3/5, 4/5 y 1. Estos valores pueden pasarse a los respectivos porcentajes. Como  $q=2$ , estas proporciones tienen que ser iguales para ambos componentes, de tal manera que la suma de las fracciones de 1, por ejemplo, 1/5A + 4/5B.

Los puntos experimentales caen dentro de las siguientes regiones simplex:

**TABLA 3. 14. Regiones Simplex**

Número de Componentes	Región Simplex
2	Línea Recta
3	Triángulo
4	Tetraedro

Fuente: La Autora





## UNIVERSIDAD DE CUENCA

Para desarrollar modelos matemático para cada una de las respuestas de nuestros experimentos, se necesita primero conocer los modelos generales de primer y segundo orden.

Con dos variables controlables, un modelo matemático de primer orden vendrá dado por:

$$Y = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \varepsilon \quad (3.3)$$

En donde  $Y$  es la respuesta medida,  $X_1$ ,  $X_2$  son las proporciones de los componentes y  $\varepsilon$  es el error experimental. Nótese que este polinomio no posee el término constante. Esto se debe a que las variables  $X_1$  y  $X_2$  están relacionadas mediante  $X_1 + X_2 = 1$ .

Para poder identificar como este término constante fue reemplazado en el polinomio de primer orden, se plantea un segundo polinomio:

$$Y = \alpha_0 + \alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 + \varepsilon \quad (3.4)$$

En donde los términos alfa son los coeficientes de las variables  $X$ . Aplicando la restricción de que la ecuación 3.2 podemos variar el término constante  $\alpha_0$  reemplazándolo por  $\alpha_0 (X_1 + X_2)$ . Entonces se tiene:

$$Y = \alpha_0 (X_1 + X_2) + \alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 + \alpha_3 X_3 + \varepsilon \quad (3.5)$$

Consecuentemente la ecuación se convertirá en:

$$Y = (\alpha_0 + \alpha_1)X_1 + (\alpha_0 + \alpha_2)X_2 + (\alpha_0 + \alpha_3)X_3 \quad (3.6)$$



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

Haciendo  $\beta_1 = (\alpha_0 + \alpha_1)$ ,  $\beta_2 = (\alpha_0 + \alpha_2)$  y  $\beta_3 = (\alpha_0 + \alpha_3)$  se obtiene el polinomio de primer orden inicial.

El modelo de segundo orden puede derivarse de una manera similar al polinomio de primer orden:

$$Y = Y = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_1 X_1 + \beta_{12} X_1 X_2 + \varepsilon \quad (3.7)$$

Es preciso observar que en la ecuación anterior se incluyen los efectos de interacción  $\beta_{ij} X_i X_j$ , pero no hay término cuadrático del tipo  $\beta_{ii} X_i^2$ , lo cual se debe a que  $\sum X_i = X_1 + X_2 + X_3 = 1$  y  $X_1(1 - X_2 - X_3)$  puede reemplazar a  $X_1^2$ , etc. (SALTO H. )

Estos modelos presentados anteriormente contemplan la cuantificación del error experimental. Sabiendo que este error puede ser de origen tanto sistemático como aleatorio, no se puede saber a ciencia cierta su origen y por tanto su cuantificación. Entonces se debería tener en cuenta que los coeficientes beta son valores verdaderos que no presentan incertidumbre. Sin embargo, debido a la variabilidad experimental, esto no existe en realidad y lo que se determina realmente son estimadores que llevan consigo algo del error experimental. Por tanto es apropiado definir los verdaderos modelos experimentales de primer y segundo orden de la siguiente manera:

$$Y = \hat{\beta}_1 X_1 + \hat{\beta}_2 X_2 \quad (3.8)$$

$$Y = \hat{\beta}_1 X_1 + \hat{\beta}_2 X_2 + \hat{\beta}_{12} X_1 X_2 \quad (3.9)$$



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

Debido a que se tiene solo dos componentes la región simplex corresponderá a una línea recta, lo que conlleva el escoger el modelo de primer orden para ajustar los datos experimentales a las respectivas respuestas.

Para averiguar que tan bien los datos se ajustan a un modelo matemático, es necesario usar algunos parámetros que miden la calidad del mismo. El primero de ellos se denomina coeficiente de determinación y mide la proporción de la variabilidad experimental explicada por el modelo. Un potencial problema con este estadístico es que aumenta conforme factores son añadidos al modelo, incluso si esos factores no son significativos. Por tanto, se necesita otro coeficiente que se ajuste al tamaño del modelo matemático, es decir, al número de factores del mismo. Este es el coeficiente de determinación ajustado y puede disminuir si términos no significativos son incorporados al modelo. Este estadístico presenta valores aceptables de ajuste a partir de 0,7.

### 3.10.2. MODELO MATEMÁTICO PARA LA ABSORCIÓN DE AGUA

Para obtener el modelo matemático para la absorción de agua se sometió a regresión lineal por el método de mínimos cuadrados ordinarios la matriz detallada en la tabla 3.9 con ayuda del paquete utilitario Excel.

**TABLA 3. 15. De regresión lineal para absorción de agua de la mezcla de arcillas.**

Ya(Absorción de agua)	$X_1$	$X_2$	$X_1 * X_2$
17,43	1,0	0,0	0
16,21	0,8	0,2	0,16
15,93	0,6	0,4	0,24
15,06	0,4	0,6	0,24
15,53	0,2	0,8	0,16
15,79	0,0	1,0	0

Fuente: La Autora



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

El modelo matemático obtenido fue:

$$Y=16,78X_1+15.19X_2 \quad (3.10)$$

Las estadísticas de la regresión se presentan a continuación:

**TABLA 3. 16. Estadísticas de la regresión para el análisis de absorción de agua.**

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0,99951903
Coeficiente de determinación $R^2$	0,999
$R^2$ ajustado	0,749
Error típico	0,60802295
Observaciones	6

Fuente: La Autora.

De acuerdo a la tabla 3.16 se puede observar que el modelo matemático obtenido tiene una correlación de 0,999 para todas las variables estudiadas. Sin embargo, se observa que el coeficiente de determinación ajustado es de 0,749. En la sección 3.10.1 se explicó la diferencia entre estos coeficientes. Al tener un coeficiente de determinación ajustado mayor a 0,7 se puede decir que el modelo explica el fenómeno en aproximadamente un 75%.



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

### 3.10.3. MODELO MATEMÁTICO PARA LA CONTRACCIÓN AL SECADO

Para obtener el modelo matemático para la contracción al secado se sometió a regresión lineal por el método de mínimos cuadrados ordinarios la matriz detallada en la tabla 3.10 con ayuda del paquete utilitario Excel.

**TABLA 3. 17. De regresión lineal para contracción al secado de la mezcla de arcillas.**

Yb(Contracción al secado)	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub> *X <sub>2</sub>
6,75	1,0	0,0	0
7,05	0,8	0,2	0,16
7,60	0,6	0,4	0,24
7,10	0,4	0,6	0,24
7,50	0,2	0,8	0,16
7,25	0,0	1,0	0

Fuente: La Autora

El modelo obtenido fue:

$$Y=6,96X_1+7,44X_2 \quad (3.11)$$

Las estadísticas de la regresión se presentan a continuación:



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

**TABLA 3. 18. Estadísticas de la regresión para la contracción al secado.**

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0,99947662
Coeficiente de determinación $R^2$	0,99895352
$R^2$ ajustado	0,7486919
Error típico	0,28581546
Observaciones	6

Fuente: La Autora

De acuerdo a la tabla 3.18 se puede observar que el modelo matemático obtenido tiene una correlación de 0,998 para todas las variables estudiadas. Sin embargo, se observa que el coeficiente de determinación ajustado es de 0,748. En la sección 3.10.1 se explicó la diferencia entre estos coeficientes. Al tener un coeficiente de determinación ajustado mayor a 0,7 se puede decir que el modelo explica el fenómeno en aproximadamente un 75%.

### **3.10.4. MODELO MATEMÁTICO PARA LA CONTRACCIÓN A LA QUEMA**

Para obtener el modelo matemático para la contracción al secado se sometió a regresión lineal la matriz detallada en la tabla 3.11 con ayuda del paquete utilitario Excel.





## UNIVERSIDAD DE CUENCA

**TABLA 3. 19. De regresión lineal para contracción la quema de la mezcla de arcillas.**

Yc(Contracción a la quema)	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub> *X <sub>2</sub>
0,16	1,0	0,0	0
0,00	0,8	0,2	0,16
0,03	0,6	0,4	0,24
0,05	0,4	0,6	0,24
0,00	0,2	0,8	0,16
1,08	0,0	1,0	0

Fuente: La Autora

El modelo obtenido fue:

$$Y=0,11X_1+0,55X_2 \quad (3.12)$$

Las estadísticas de la regresión para la contracción a la quema se presentan a continuación.

**TABLA 3. 20. Estadísticas de la regresión para la contracción a la quema**

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	
	0,70569755
Coeficiente de determinación R <sup>2</sup>	
	0,49800903
R <sup>2</sup> ajustado	
	0,12251129
Error típico	
	0,38732415
Observaciones	
	6

Fuente: La Autora.



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

De acuerdo a la tabla 3.20 se puede observar que el modelo matemático obtenido tiene una correlación de 0,498 para todas las variables estudiadas. Sin embargo, se observa que el coeficiente de determinación ajustado es de 0,122. Lo que indica que este modelo no explica el fenómeno y por tanto se presume que las variables escogidas no afectan a la contracción a la quema.

### 3.10.5. MODELO MATEMÁTICO PARA LA CONTRACCIÓN TOTAL

Para obtener el modelo matemático para la contracción al secado se sometió a regresión lineal la matriz detallada en la tabla 3.12 con ayuda del paquete utilitario Excel.

**TABLA 3. 21. De regresión lineal para contracción total de la mezcla de arcillas.**

Yd(Contracción Total)	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub> *X <sub>2</sub>
6,90	1,0	0,0	0
7,05	0,8	0,2	0,16
7,63	0,6	0,4	0,24
7,15	0,4	0,6	0,24
7,50	0,2	0,8	0,16
8,25	0,0	1,0	0

Fuente: La Autora

El modelo obtenido fue:

$$Y=6,7X_1+7,96X_2 \quad (3.13)$$



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

Las estadísticas de la regresión para la contracción total se presentan a continuación:

**TABLA 3. 22. Estadísticas de la regresión para la contracción total**

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0,99941088
Coeficiente de determinación $R^2$	0,9988221
$R^2$ ajustado	0,74852763
Error típico	0,3121866
Observaciones	6

Fuente: La Autora

De acuerdo a la tabla 3.22 se puede observar que el modelo matemático obtenido tiene una correlación de 0,998 para todas las variables estudiadas. Sin embargo, se observa que el coeficiente de determinación ajustado es de 0,748. . En la sección 3.10.1 se explicó la diferencia entre estos coeficientes. Al tener un coeficiente de determinación ajustado mayor a 0,7 se puede decir que el modelo explica el fenómeno en aproximadamente un 75%.

### **3.10.6. MODELO MATEMÁTICO PARA ÍNDICE DE PLASTICIDAD**

Para obtener el modelo matemático para la contracción al secado se sometió a regresión lineal por el método de mínimos cuadrados ordinarios la matriz detallada en la tabla 3.13 con ayuda del paquete utilitario Excel.



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

**TABLA 3. 23. De regresión lineal para el índice de plasticidad de la mezcla de arcillas.**

Ye(Índice de plasticidad)	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub> *X <sub>2</sub>
5,54	1,0	0,0	0
7,22	0,8	0,2	0,16
6,59	0,6	0,4	0,24
5,6	0,4	0,6	0,24
8,59	0,2	0,8	0,16
10,4	0,0	1,0	0

Fuente: La Autora.

El modelo obtenido fue:

$$Y=5,35X_1+7,96X_2 \quad (3.14)$$

Las estadísticas de la regresión para la contracción total se presentan a continuación:

**TABLA 3. 24. Estadísticas de la regresión para el índice de plasticidad**

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0,99941088
Coeficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,9988221
R <sup>2</sup> ajustado	0,74852763
Error típico	0,3121866
Observaciones	6

Fuente:LaAutora



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

De acuerdo a la tabla 3.24 se puede observar que el modelo matemático obtenido tiene una correlación de 0,998 para todas las variables estudiadas. Sin embargo, se observa que el coeficiente de determinación ajustado es de 0,748. En la sección 3.10.1 se explicó la diferencia entre estos coeficientes. Al tener un coeficiente de determinación ajustado mayor a 0,7 se puede decir que el modelo explica el fenómeno en aproximadamente un 75%.

### 3.11. ANÁLISIS DE EFECTOS SINÉRGICOS Y ANTAGÓNICOS

Se dice que un efecto es sinérgico cuando contribuye al aumento de la respuesta, es decir tiene signo positivo en el modelo matemático. Contrariamente, se dice que un efecto es antagónico cuando hace que la respuesta disminuya, es decir tiene signo negativo. Analizando la tabla 3.25 se puede observar que en todos los modelos matemáticos existen efectos sinérgicos, lo que quiere decir aumentando los valores de las variables  $X_1$  y  $X_2$  aumentara la respuesta  $Y$ .

**TABLA 3. 25. Modelos matemáticos del experimento**

$y=16,78X_1+15,19X_2$	Absorción de Agua
$y=6,96X_1+7,44X_2$	Contracción al Secado
$y=0,11x_1+0,55x_2$	Contracción a la quema
$y=6,7x_1+7,96x_2$	Contracción Total
$y= 5,35x_1+7,96x_2$	Índice de Plasticidad

Fuente: La Autora



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

### 3.12. PROGRAMACIÓN LINEAL

#### 3.12.1. FUNCIONES RESTRICTIVAS O RESTRICCIONES

Aquí verificamos las restricciones propias del problema, o restricciones técnicas sugeridas, es decir, en este punto habrá de señalar las limitaciones de recursos. Para señalar estas funciones nos basaremos en los modelos matemáticos desarrollados durante la experimentación. Estas ecuaciones contienen las variables de decisión, los parámetros y las cantidades de recursos disponibles limitadas o mínimas necesarias.

El número de funciones restrictivas dependerá de los recursos que se consideren y de las condiciones que imponen los clientes. Las restricciones fundamentales en este problema son los costos unitarios de la materia prima, que conformarán la función objetivo que posteriormente se desarrollará.

**TABLA 3. 26. Costos de arcillas por kilogramo**

RECURSOS	\$/Kg.
arcilla plástica	1,20
arcilla arenosa	0,55

Fuente: Taller de costos del Programa EELA Ecuador.

#### 3.12.2. LA FUNCIÓN OBJETIVO

La función objetivo contiene a las variables de decisión aplicadas por un coeficiente que, por lo general, es la utilidad que se espera obtener del producto que se genera, o el costo unitario que significa producirlo. En consecuencia, esta función objetivo se plantea como una de criterio: MAXIMIZACIÓN o MINIMIZACIÓN.

La forma como se expresa esta función es la siguiente:

$$\text{MAX O MIN } Z_0 = \sum C_i * X_i \quad (3.15)$$





## UNIVERSIDAD DE CUENCA

Donde  $Z_0$  significa “Función Objetivo” y  $C_i$  son las utilidades o costos unitarios, según sea el caso. Para este estudio, la función objetivo será:

$$Z_0 = 1,20X_1 + 0,55 X_2 \quad (3.16)$$

### 3.12.3. SOLUCIÓN DEL PROBLEMA DE PROGRAMACIÓN LINEAL POR EL MÉTODO GRÁFICO

Para comenzar, dado que se tienen 5 funciones de  $X_1$  y  $X_2$ , se deben dar valores a estas variables para poder graficarlas en el plano coordenado  $X_1:X_2$ . Por tanto, mediante iteraciones sucesivas se encontraron valores de  $X_1$  y  $X_2$  que confluyeron en el punto de optimización, usando para ello el software *OR Courseware*. Los valores obtenidos para las respuestas experimentales en el punto de optimización se muestran en la tabla 3.27. También, se representa la función objetivo como una función paramétrica, a partir de la cual se genera una familia de paralelas. Gráficamente, cada restricción genera un ámbito de soluciones (óptimos). Si el problema tiene una solución, el gráfico tiene que mostrar un ámbito común de soluciones factibles. Si el ámbito es cerrado adquiere el nombre de “ámbito acotado”; en caso contrario será “no acotado”. Por otro lado, hay ocasiones en que no se conforma una zona común de soluciones, en cuyo caso la conclusión es que el problema no tiene solución práctica. En general, para el caso de maximización, se identificará el punto en la región factible que esté más alejado del origen de coordenadas, o para el caso de minimización, el más cercano (Métodos Simplex).

Una de las paralelas construidas a partir de la función objetivo tocará este punto, identificándose como el óptimo. En este caso, se puede ver en el gráfico 3.1 que el ámbito es acotado y queda representado por el polígono OABCD.



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

El software OR Courseware no representa la función objetivo. En su lugar, realiza iteraciones para encontrar la familia de paralelas en la región factible e identifica mediante estas al punto óptimo.

**TABLA 3. 27. Valores de las respuestas experimentales encontradas con or courseware.**

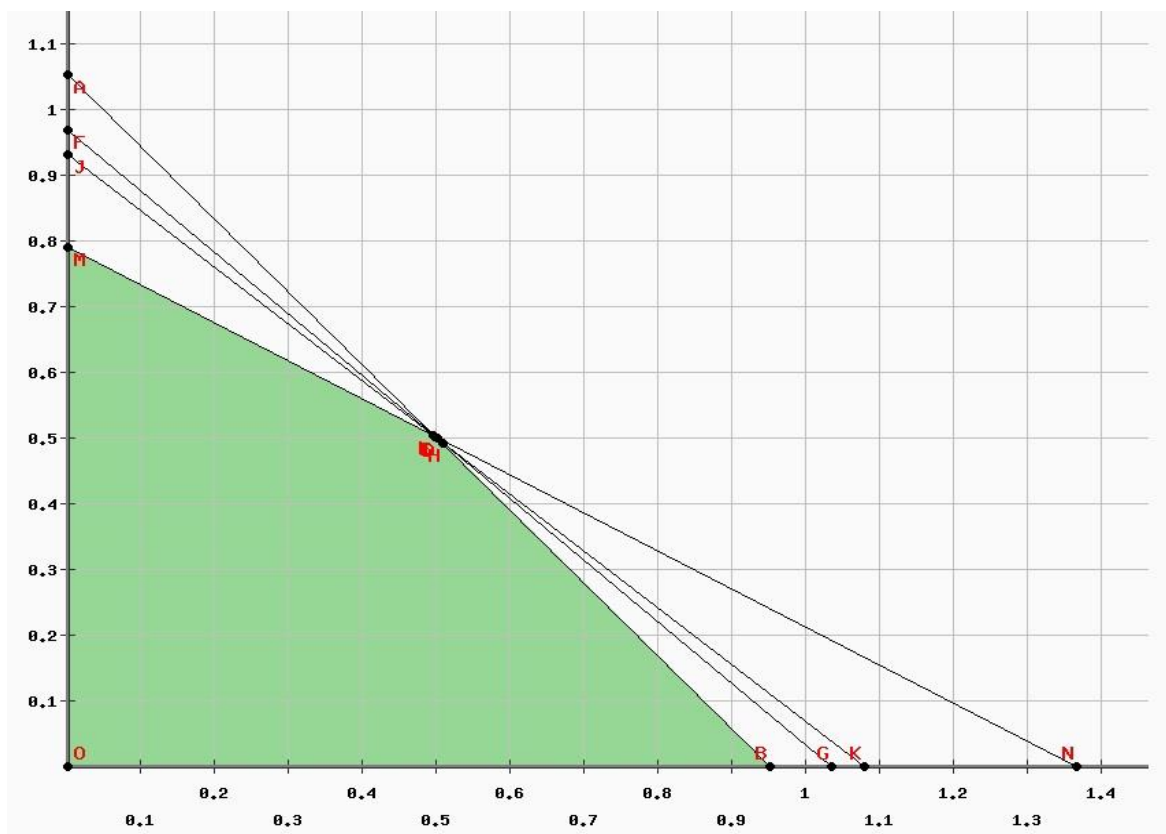
$Y_a(15.98)=16,78X_1+15.19X_2$	<b>Absorción de Agua</b>
$Y_b(7.20)=6,96X_1+7,44X_2$	<b>Contracción al Secado</b>
$Y_c(6.22)=0,11X_1+0,55X_2$	<b>Contracción a la Quema</b>
$Y_d(7.41)=6,7X_1+7,96X_2$	<b>Contracción Total</b>
$Y_e(7.32)=5,35X_1+7,96X_2$	<b>Índice de Plasticidad</b>

Fuente: La Autora.



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

### GRÁFICO OBTENIDO MEDIANTE OR COURSEWARE QUE MUESTRA EL PUNTO ÓPTIMO DE MEZCLA DE ARCILLAS



Punto	Coordenada X (X1)	Coordenada Y (X2)	Valor de la función objetivo (Z)
O	0	0	0
A	0	0.88874259381172	0.48880842659645
B	0.8045	0.1956	1.30003
C	0.035539285062807	0.84948326508533	0.5098629378723
D	0.021605168415156	0.86487592323856	0.50160795987939
E	0	0.94086021505376	0.51747311827957
F	1.0057471264368	0	1.2068965517241
G	0.65543071161049	0.32771535580524	0.96676029962547
H	0.23336923629276	0.72254705852182	0.67744396573832
I	0	0.87939698492462	0.48366834170854
J	1.044776119403	0	1.2537313432836
K	1.3084112149533	0	1.5700934579439



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

### NOTA:

En color verde los puntos en los que se encuentra la solución.

Mostrar la región factible.

La solución óptima es  $Z=1,30$

$X1 = 0.8045 = 80\%$

$X2 = 0,1956 = 20\%$

### 3.12.4. COSTOS OBTENIDOS MEDIANTE LA FUNCIÓN OBJETIVO

Luego de encontrar los valores respectivos a través del grafico 3.1, procederemos a remplazar los datos de la ecuación (3.16).

**TABLA 3. 28. Ahorro Producido Con La Propuesta De Optimización.**

	Costo arcilla Plástica \$/Kg	Dosificación Arcilla Plástica%	Costo arcilla Arenosa \$/Kg	Dosificación Arcilla Arenosa%	Costo Total por Kg.	Costo por cada tonelada	Ahorro \$
Gastos actuales de los artesanos	1,20	<b>0,40</b>	0,55	<b>0,60</b>	<b>0,81</b>	810	
Gastos según la Propuesta	1,20	<b>0,20</b>	0,55	<b>0,80</b>	<b>0,68</b>	680	<b>\$130</b>

Fuente: La Autora.



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

### CAPÍTULO 4

#### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

##### 4.1. CONCLUSIONES

I. Se escogió como respuestas experimentales la absorción de agua, contracción al secado, contracción a la quema, contracción total e índice de plasticidad.

II. Los datos experimentales fueron ajustados mediante el método de mínimos cuadrados ordinarios obteniéndose modelos matemáticos de primer orden. Mediante estos modelos se logró poner las respuestas experimentales en función de las variables  $X_1$  (masa de arcilla arenosa) y  $X_2$  (masa de arcilla plástica).

III. Los modelos matemáticos de absorción de agua, contracción al secado, contracción total e índice de plasticidad ajustan los datos experimentales en aproximadamente en un 75%, mientras que la contracción a la quema tan solo en un 12%, esto pudo deberse a que las variables experimentales no son suficientes para modelar el fenómeno.

IV. Mediante el software OR Courseware se determinó que el punto óptimo para la mezcla es de 80% de arcilla arenosa y un 20% de arcilla plástica.

V. Con esta propuesta de optimización por cada tonelada de materia prima se lograra un ahorro de \$130, debido a que se disminuye el consumo de arcilla plástica que es la de mayor costo.

VI. En los experimentos realizados a nivel de laboratorio para establecer la línea base de este estudio se determinó que las mezclas de arcillas (plásticas y



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

arenosas) del sector Tixán, Racar, Balzay, y La Dolorosa de Sinincay difieren químicamente entre un 1 y 2%, por lo se decidió trabajar solo en Racar para luego generalizar los resultados al resto de sectores.

VII. El modelo matemático de contracción a la quema fue descartado en el procedimiento para encontrar el punto óptimo de mezcla por tener un bajo coeficiente de determinación.

VIII. Se realiza la resistencia a la compresión con la nueva propuesta de mezcla, y los resultados fueron satisfactorios, ya que están dentro de la norma INEN 0294 para ladrillos como se puede apreciar en el anexo A.10

### 4.2. RECOMENDACIONES

I. Del proyecto realizado recomendamos que es necesario trabajar en estas condiciones de mezcla para disminuir costos de materia prima.

II. Considerando las bondades que podemos obtener a través del diseño de mezclas se recomienda que esta metodología pueda ser validada en las otras ladrilleras.



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

### ANEXOS

#### A.1 MUESTRAS RECOLECTADAS EN EL SECTOR LADRILLERO ARTESANAL DEL CANTÓN CUENCA.

MUESTRA	NÚMERO	CÓDIGO	CANTIDAD	SECTOR	CANTÓN
1	A	01PTm	3Kg.	Tixán	Cuenca
2	A1	02PTm	3Kg.	Tixán	Cuenca
3	B	01RRc	3Kg.	Racar	Cuenca
4	B	02RRc	3Kg.	Racar	Cuenca
5	C	01CBm	3Kg.	Balzay	Cuenca
6	D	01DCm	3Kg.	La dolorosa	Cuenca
7	Mz	01RRc1	3Kg.	Racar	Cuenca
8	Mz	01CBm1	3Kg.	San José	Cuenca

Fuente: La Autora

#### A.2 RESULTADO DEL ANÁLISIS QUÍMICO DE LAS ARCILLAS EN DIFERENTES PUNTOS DEL SECTOR ARTESANAL, PARA LÍNEA BASE.

	MUESTRAS PARA LÍNEA BASE								LIMITES ADMISIBLES
Análisis Químico	A01PTm	A02PTm	B01RRc	B02RRc	C01CBm	D01DCm	Mz01RRc1	Mz01CBm1	
SiO <sub>2</sub>	65,1	57,2	61	53	58	59,3	57,6	58,3	50-60%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,62	20,17	16,26	23,34	20,13	16,92	22,27	21,14	20-30%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,09	10,39	14,35	8,27	10,95	11,93	8,85	<7%	
MgO	0,16	0,07	0,14	0,27	0,15	0,28	0,16	<1%	
Na <sub>2</sub> O	0,67	0,3	0,38	0,19	0,15	1,47	0,36	0,77	<10%
K <sub>2</sub> O	2,7	0,46	1,53	0,74	1,79	0,98	1,35	1,7	<10%
CaO	0	0	0	0	0	0	0	0	10%
SO <sub>3</sub>	0,06	0,03	0,06	0	0,04	0,05	0,01	0,01	1%
PF	5,52	11,3	6,17	14,1	8,68	8,95	9,32	10,7	
% total	99,92	99,92	99,89	99,91	99,89	99,88	99,92	99,91	
Humedad	6,31	14,4	13,6	14,2	26,1	16,3	5,16	5,77	

Fuente: Universidad Central de Quito, Laboratorio LABFIGEMPA, análisis realizado por el químico Gabriel Cevallos González.





## UNIVERSIDAD DE CUENCA

### A.3 DISEÑO DE MEZCLAS PARA LAS ARCILLAS EN EL SECTOR ARTESANAL.

MEZCLAS	ARCILLA PLÁSTICA	ARCILLA ARENOSA	MEZCLA DE ARCILLA
A	100	0	Mezcla Pura
B	0	100	Mezcla Pura
C	80	20	Mezcla Combinada
D	20	80	Mezcla Combinada
E	60	40	Mezcla Combinada
F	40	60	Mezcla Combinada

Fuente: La Autora.

### A.4 TABLAS DE LOS EXPERIMENTOS A ANALIZAR

#### A.4.1 ABSORCIÓN DE AGUA DE LA MEZCLA DE ARCILLAS

EXPERIMENTO	MASA DE ARCILLA PLÁSTICA (kg)	MASA DE ARCILLA ARENOSA (kg)	ABSORCIÓN DE AGUA Ya (%)
A	3	0	Ya1
B	0	3	Ya2
C	2,4	0,6	Ya3
D	0,6	2,4	Ya4
E	1,8	1,2	Ya5
F	1,2	1,8	Ya6

Fuente: La Autora.



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

### A.4.2 CONTRACCIÓN AL SECADO DE LA MEZCLA DE ARCILLAS

EXPERIMENTO	MASA DE ARCILLA PLÁSTICA (kg)	MASA DE ARCILLA ARENOSA (kg)	CONTRACCIÓN AL SECADO Y <sub>b</sub> (%)
A	100	0	Y <sub>b</sub> 1
B	0	100	Y <sub>b</sub> 2
C	80	20	Y <sub>b</sub> 3
D	20	80	Y <sub>b</sub> 4
E	60	40	Y <sub>b</sub> 5
F	40	60	Y <sub>b</sub> 6

Fuente: La Autora.

### A.4.3 CONTRACCIÓN A LA QUEMA DE LA MEZCLA DE ARCILLAS

EXPERIMENTO	MASA DE ARCILLA PLÁSTICA (kg)	MASA DE ARCILLA ARENOSA (kg)	CONTRACCIÓN A LA QUEMA Y <sub>c</sub> (%)
A	100	0	Y <sub>c</sub> 1
B	0	100	Y <sub>c</sub> 2
C	80	20	Y <sub>c</sub> 3
D	20	80	Y <sub>c</sub> 4
E	60	40	Y <sub>c</sub> 5
F	40	60	Y <sub>c</sub> 6

Fuente: La Autora



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

### A.4.4 CONTRACCIÓN TOTAL DE LA MEZCLA DE ARCILLAS

EXPERIMENTO	MASA DE ARCILLA PLÁSTICA (kg)	MASA DE ARCILLA ARENOSA (kg)	CONTRACCIÓN TOTAL Yd (%)
A	100	0	Yd1
B	0	100	Yd2
C	80	20	Yd3
D	20	80	Yd4
E	60	40	Yd5
F	40	60	Yd6

Fuente: La Autora

### A.4.5 ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LAS ARCILLAS

EXPERIMENTO	MASA DE ARCILLA PLÁSTICA (kg)	MASA DE ARCILLA ARENOSA (kg)	ÍNDICE DE PLASTICIDAD Yf (%)
A	100	0	Yf1
B	0	100	Yf2
C	80	20	Yf3
D	20	80	Yf4
E	60	40	Yf5
F	40	60	Yf6

Fuente: La Autora



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

### A.5 TABLAS DE LOS EXPERIMENTOS BAJO LA NORMA ASTM D4318-95 (CASA GRANDE).

#### A.5.1 ABSORCIÓN DE AGUA DE LAS ARCILLAS BAJO LA NORMA ASTM D4318-95 (CASA GRANDE).

EXPERIMENTO	MASA DE ARCILLA PLÁSTICA (kg)	MASA DE ARCILLA ARENOSA (kg)	ABSORCIÓN DE AGUA Ya (%)
A	3	0	<b>17,43</b>
B	0	3	<b>15,79</b>
C	2,4	0,6	<b>15,93</b>
D	0,6	2,4	<b>15,06</b>
E	1,8	1,2	<b>15,53</b>
F	1,2	1,8	<b>15,79</b>

Fuente: La Autora.

#### A.5.2 CONTRACCIÓN AL SECADO DE LAS ARCILLAS BAJO LA NORMA ASTM D4318-95 (CASA GRANDE).

EXPERIMENTO	MASA DE ARCILLA PLÁSTICA (kg)	MASA DE ARCILLA ARENOSA (kg)	CONTRACCIÓN AL SECADO Yb (%)
A	100	0	<b>6,75</b>
B	0	100	<b>7,05</b>
C	80	20	<b>7,60</b>
D	20	80	<b>7,10</b>
E	60	40	<b>7,50</b>
F	40	60	<b>7,25</b>

Fuente: La Autora.



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

### A.5.3 CONTRACCIÓN A LA QUEMA DE LAS ARCILLAS BAJO LA NORMA ASTM D4318-95 (CASA GRANDE).

EXPERIMENTO	MASA DE ARCILLA PLÁSTICA (kg)	MASA DE ARCILLA ARENOSA (kg)	CONTRACCIÓN A LA QUEMA $Y_c$ (%)
A	100	0	<b>0,16</b>
B	0	100	<b>0,00</b>
C	80	20	<b>0,03</b>
D	20	80	<b>0,05</b>
E	60	40	<b>0,00</b>
F	40	60	<b>1,08</b>

Fuente: La Autora.

### A.5.4 CONTRACCIÓN TOTAL DE LAS ARCILLAS BAJO LA NORMA ASTM D4318-95 (CASA GRANDE).

EXPERIMENTO	MASA DE ARCILLA PLÁSTICA (kg)	MASA DE ARCILLA ARENOSA (kg)	CONTRACCIÓN TOTAL $Y_d$ (%)
A	100	0	<b>6,90</b>
B	0	100	<b>7,05</b>
C	80	20	<b>7,63</b>
D	20	80	<b>7,15</b>
E	60	40	<b>7,50</b>
F	40	60	<b>8,25</b>

Fuente: La Autora.



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

### A.5.5 ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LAS ARCILLAS BAJO LA NORMA ASTM D4318-95 (CASA GRANDE).

EXPERIMENTO	MASA DE ARCILLA PLÁSTICA (kg)	MASA DE ARCILLA ARENOSA (kg)	ÍNDICE DE PLASTICIDAD Y <sub>p</sub> (%)
A	100	0	<b>5,54</b>
B	0	100	<b>7,22</b>
C	80	20	<b>6,59</b>
D	20	80	<b>5,60</b>
E	60	40	<b>8,59</b>
F	40	60	<b>10,40</b>

Fuente: La Autora

### A.6 REGIONES SIMPLEX

Número de Componentes	Región Simplex
2	Línea Recta
3	Triángulo
4	Tetraedro

Fuente: La Autora



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

### A.7 MODELOS MATEMÁTICOS

#### A.7.1 DE REGRESIÓN LINEAL PARA ABSORCIÓN DE AGUA DE LA MEZCLA DE ARCILLAS.

Ya(Absorción de agua)	X1	X2	X1*X2
17,43	1,0	0,0	0
16,21	0,8	0,2	0,16
15,93	0,6	0,4	0,24
15,06	0,4	0,6	0,24
15,53	0,2	0,8	0,16
15,79	0,0	1,0	0

Fuente: La Autora

#### A.7.1.1 ESTADÍSTICAS DE LA REGRESIÓN PARA EL ANÁLISIS DE ABSORCIÓN DE AGUA.

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	
	0,99951903
Coeficiente de determinación	
R <sup>2</sup>	0,999
R <sup>2</sup> ajustado	0,749
Error típico	0,60802295
Observaciones	6

Fuente: La Autora.





## UNIVERSIDAD DE CUENCA

### A.7.2 DE REGRESIÓN LINEAL PARA CONTRACCIÓN AL SECADO DE LA MEZCLA DE ARCILLAS.

Yb(Contracción al secado)	X1	X2	X1X2
6,75	1,0	0,0	0
7,05	0,8	0,2	0,16
7,60	0,6	0,4	0,24
7,10	0,4	0,6	0,24
7,50	0,2	0,8	0,16
7,25	0,0	1,0	0

Fuente: La Autora

#### A.7.2.1 ESTADÍSTICAS DE LA REGRESIÓN PARA LA CONTRACCIÓN AL SECADO.

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0,99947662
Coeficiente de determinación $R^2$	0,99895352
$R^2$ ajustado	0,7486919
Error típico	0,28581546
Observaciones	6

Fuente: La Autora



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

### A.7.3 DE REGRESIÓN LINEAL PARA CONTRACCIÓN LA QUEMA DE LA MEZCLA DE ARCILLAS.

Yc(Contracción a la quema)	X1	X2	X1X2
0,16	1,0	0,0	0
0,00	0,8	0,2	0,16
0,03	0,6	0,4	0,24
0,05	0,4	0,6	0,24
0,00	0,2	0,8	0,16
1,08	0,0	1,0	0

Fuente: La Autora

#### A.7.3.1 ESTADÍSTICAS DE LA REGRESIÓN PARA LA CONTRACCIÓN A LA QUEMA

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0,70569755
Coeficiente de determinación $R^2$	0,49800903
$R^2$ ajustado	0,12251129
Error típico	0,38732415
Observaciones	6

Fuente: La Autora.



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

### A.7.4 DE REGRESIÓN LINEAL PARA CONTRACCIÓN TOTAL DE LA MEZCLA DE ARCILLAS.

Yd(Contracción Total)	X1	X2	X1*X2
6,90	1,0	0,0	0
7,05	0,8	0,2	0,16
7,63	0,6	0,4	0,24
7,15	0,4	0,6	0,24
7,50	0,2	0,8	0,16
8,25	0,0	1,0	0

Fuente: La Autora

#### A.7.4.1 ESTADÍSTICAS DE LA REGRESIÓN PARA LA CONTRACCIÓN TOTAL

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0,99941088
Coeficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,9988221
R <sup>2</sup> ajustado	0,74852763
Error típico	0,3121866
Observaciones	6

Fuente: La Autora



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

### A.7.5 DE REGRESIÓN LINEAL PARA EL ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LA MEZCLA DE ARCILLAS.

Ye(Índice de plasticidad)	X1	X2	X1*X2
5,54	1,0	0,0	0
7,22	0,8	0,2	0,16
6,59	0,6	0,4	0,24
5,6	0,4	0,6	0,24
8,59	0,2	0,8	0,16
10,4	0,0	1,0	0

Fuente: La Autora.

#### A.7.5.1 ESTADÍSTICAS DE LA REGRESIÓN PARA EL ÍNDICE DE PLASTICIDAD

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0,99941088
Coeficiente de determinación $R^2$	0,9988221
$R^2$ ajustado	0,74852763
Error típico	0,3121866
Observaciones	6

Fuente:La Autora



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

### A.7.6 TABLA 3.25 MODELOS MATEMÁTICOS DEL EXPERIMENTO

$y=16,78X_1+15,19X_2$	Absorción de Agua
$y=6,96X_1+7,44X_2$	Contracción al Secado
$y=0,11X_1+0,55X_2$	Contracción a la quema
$y=6,7X_1+7,96X_2$	Contracción Total
$y= 5,35X_1+7,96X_2$	Índice de Plasticidad

Fuente: La Autora

### A.8 COSTOS DE ARCILLAS POR KILOGRAMO

RECURSOS	\$/Kg.
arcilla plástica	1,20
arcilla arenosa	0,55

Fuente: Taller de costos del Programa EELA Ecuador.



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

### A.9 VALORES DE LAS RESPUESTAS EXPERIMENTALES ENCONTRADAS CON OR COURSEWARE.

$Y_a(15.98)=16,78X_1+15,19X_2$	<b>Absorción de Agua</b>
$Y_b(7.20)=6,96X_1+7,44X_2$	<b>Contracción al Secado</b>
$Y_c(6.22)=0,11X_1+0,55X_2$	<b>Contracción a la Quema</b>
$Y_d(7.41)=6,7X_1+7,96X_2$	<b>Contracción Total</b>
$Y_e(7.32)=5,35X_1+7,96X_2$	<b>Índice de Plasticidad</b>

Fuente: La Autora.

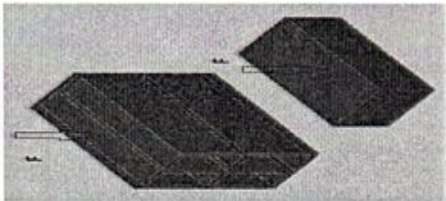
#### A.9.1 AHORRO PRODUCIDO CON LA PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN.

	Costo arcilla Plástica \$/Kg	Dosificación Arcilla Plástica%	Costo arcilla Arenosa \$/Kg	Dosificación Arcilla Arenosa%	Costo Total por Kg.	Costo por cada tonelada	Ahorro \$
Gastos actuales de los artesanos	1,20	<b>0,40</b>	0,55	<b>0,60</b>	<b>0,81</b>	810	
Gastos según la Propuesta	1,20	<b>0,20</b>	0,55	<b>0,80</b>	<b>0,68</b>	680	<b>\$130</b>

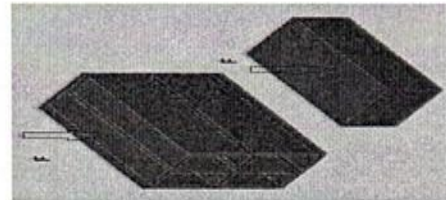
Fuente: La Autora.

## A.10 CUADRO COMPARATIVO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN LADRILLOS PANELÓN CON EL PUNTO ÓPTIMO ENCONTRADO.

CUADRO COMPARATIVO RESISTENCIA A LA COMPRESION EN LADRILLOS PANELON CON EL PUNTO OPTIMO ENCONTRADO							
# MUESTRA	MUESTRA DE LADRILLOS		HORNO	RESULTADOS		OBSERVACIONES	
				RESISTENCIA	NORMA INEN		
Arcillas compradas							
1	superior	1	ladrillo tocharo 6H 10 x 20x30	sr manuel riera	3,47 Mpa	3 Mpa	sin comentarios ladrillos cumple con la norma
1	intermedio	2	ladrillo tocharo 6H 10 x 20x30	sr manuel riera	4,44 Mpa	3 Mpa	sin comentarios ladrillos cumple con la norma
1	inferior	3	ladrillo tocharo 6H 10 x 20x30	sr manuel riera	3,21 Mpa	3 Mpa	sin comentarios ladrillos cumple con la norma
Arcillas compradas							
1	superior	1A	ladrillo tocharo 6H 10 x 20x40	sr Alfredo riera	2,86 Mpa	3 Mpa	ladrillo aceptable apenas por debajo de la norma
1	intermedio	2A	ladrillo tocharo 6H 10 x 20x40	sr Alfredo riera	3,08 Mpa	3 Mpa	sin comentarios ladrillos cumple con la norma
1	inferior	3A	ladrillo tocharo 6H 10 x 20x40	sr Alfredo riera	2,71 Mpa	3 Mpa	ladrillo aceptable apenas por debajo de la norma



POSICION CORRECTA PARA APLICAR LA CARGA



POSICION CORRECTA PARA APLICAR LA CARGA





# UNIVERSIDAD DE CUENCA



## UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA, MINAS, PETRÓLEOS Y AMBIENTAL

### LABFIGEMPA INFORME DE RESULTADOS

Cliente: SWISSCONTACT  
Dirección: Flores Jijón N 17-185 y Sotomayor  
Teléfono: 2 923 101  
Atención: Ing. Sandra Gavilanez

Número de Informe: 12-066  
Fecha de informe: 12-05-18  
Recep. Laboratorio: 12-04-09  
Nº de muestras entregadas: 8 muestras sólidas

#### 1. RESULTADOS ANALÍTICOS:

Identificación de la muestra:		SÓLIDO: MUESTRA Nº 1			
Parámetros	Unidad	Valor	Método Aplicado	Fechas de ensayo	
				Inicial	Final
* Pérdida por Calcinación (PxC)	%	5,52	Método Interno Gravimétrico	12-04-13	12-04-19
* Óxido de Silicio (SiO <sub>2</sub> + insolubles)	%	65,1	Método Interno Gravimétrico	12-05-03	12-05-04
* Óxido Férrico (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	%	6,09	Método Interno AA	12-04-20	12-04-20
* Óxido de Aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	%	19,62	Método Interno AA EPA 3050 B	12-04-20	12-04-20
* Óxido de Calcio (CaO)	%	< 0,06	Método Interno AA EPA 3050 B	12-04-20	12-04-20
* Óxido de Magnesio (MgO)	%	0,16	Método Interno AA EPA 3050 B	12-04-20	12-05-11
* Sulfitos (SO <sub>3</sub> )	%	0,06	Método Interno Turbidimétrico	12-04-13	12-04-17
* Óxido de Sodio (Na <sub>2</sub> O)	%	0,67	Método Interno AA EPA 3050 B	12-04-20	12-04-20
* Óxido de Potasio (K <sub>2</sub> O)	%	2,70	Método Interno AA EPA 3050 B	12-04-20	12-04-20
* Humedad	%	6,31	Método Interno Gravimétrico	12-05-02	12-05-04

Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de acreditación del OAE

El presente informe solo afecta a los objetos sometidos a ensayo. Muestras detalladas según especificación del cliente

Nos responsabilizamos solamente de los análisis de las muestras recibidas en el LABFIGEMPA.

Documento válido únicamente con el sello seco de la Institución. El LABFIGEMPA no se responsabiliza de la reproducción parcial o total del mismo.

2. RESPONSABLES DEL ANALISIS: Quím. Gabriel Cevallos, Ing. Verónica Rodríguez

Quím. GABRIEL CEVALLOS GONZALEZ  
Director encargado LABFIGEMPA





# UNIVERSIDAD DE CUENCA



## UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA, MINAS, PETRÓLEOS Y AMBIENTAL

### LABFIGEMPA INFORME DE RESULTADOS

Cliente: SWISSCONTACT  
Dirección: Flores Jijón N 17-185 y Sotomayor  
Teléfono: 2 923 101  
Atención: Ing. Sandra Gavilanez

Número de Informe: 12-066  
Fecha de informe: 12-05-18  
Recep. Laboratorio: 12-04-09  
Nº de muestras entregadas: 8 muestras sólidas

#### 1. RESULTADOS ANALÍTICOS:

Identificación de la muestra:		SÓLIDO: MUESTRA Nº 2			
Parámetros	Unidad	Valor	Método Aplicado	Fechas de ensayo	
				Inicial	Final
*Pérdida por Calcinación (PxC)	%	6,17	Método Interno Gravimétrico	12-04-13	12-04-19
*Óxido de Silicio (SiO <sub>2</sub> + insolubles)	%	61,0	Método Interno Gravimétrico	12-05-03	12-05-04
*Óxido Férrico (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	%	14,35	Método Interno AA	12-04-20	12-04-20
*Óxido de Aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	%	16,26	Método Interno AA EPA 3050 B	12-04-20	12-04-20
*Óxido de Calcio (CaO)	%	< 0,06	Método Interno AA EPA 3050 B	12-04-20	12-04-20
*Óxido de Magnesio (MgO)	%	0,14	Método Interno AA EPA 3050 B	12-04-20	12-05-11
*Sulfitos (SO <sub>3</sub> )	%	0,06	Método Interno Turbidimétrico	12-04-13	12-04-17
*Óxido de Sodio (Na <sub>2</sub> O)	%	0,38	Método Interno AA EPA 3050 B	12-04-20	12-04-20
*Óxido de Potasio (K <sub>2</sub> O)	%	1,53	Método Interno AA EPA 3050 B	12-04-20	12-04-20
* Humedad	%	13,60	Método Interno Gravimétrico	12-05-02	12-05-04


Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de acreditación del OAE

El presente informe solo afecta a los objetos sometidos a ensayo. Muestras detalladas según especificación del cliente

No nos responsabilizamos solamente de los análisis de las muestras recibidas en el LABFIGEMPA.

Documento válido únicamente con el sello seco de la Institución. El LABFIGEMPA no se responsabiliza de la reproducción parcial o total del mismo.

2. RESPONSABLES DEL ANÁLISIS: Quím. Gabriel Cevallos, Ing. Verónica Rodríguez

  
Quím. GABRIEL CEVALLOS GONZALEZ  
Director encargado LABFIGEMPA

Ciudad Universitaria – Gerónimo Leiton y Av. La Gasca – Casilla 872-A – Telfs.: 2550-588 2566-726  
Fax: 2500-306 2566-738 – E-mail: decanato.figempa@yahoo.com – Quito-Ecuador





# UNIVERSIDAD DE CUENCA



## UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA, MINAS, PETRÓLEOS Y AMBIENTAL

### LABFIGEMPA INFORME DE RESULTADOS

Cliente: SWISSCONTACT  
Dirección: Flores Jijón N 17-185 y Sotomayor  
Teléfono: 2 923 101  
Atención: Ing. Sandra Gavilanez

Número de Informe: 12-066  
Fecha de informe: 12-05-18  
Recep. Laboratorio: 12-04-09  
Nº de muestras entregadas: 8 muestras sólidas

#### 1. RESULTADOS ANALÍTICOS:

Identificación de la muestra:		SÓLIDO: MUESTRA Nº 3		Fechas de ensayo	
Parámetros	Unidad	Valor	Método Aplicado	Inicial	Final
*Pérdida por Calcinación (PxC)	%	8,68	Método Interno Gravimétrico	12-04-13	12-04-19
*Óxido de Silicio (SiO <sub>2</sub> + insolubles)	%	58,0	Método Interno Gravimétrico	12-05-03	12-05-04
*Óxido Férrico (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	%	10,95	Método Interno AA	12-04-20	12-04-20
*Óxido de Aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	%	20,13	Método Interno AA EPA 3050 B	12-04-20	12-04-20
*Óxido de Calcio (CaO)	%	< 0,06	Método Interno AA EPA 3050 B	12-04-20	12-04-20
*Óxido de Magnesio (MgO)	%	0,15	Método Interno AA EPA 3050 B	12-04-20	12-05-11
*Sulfitos (SO <sub>3</sub> )	%	0,04	Método Interno Turbidimétrico	12-04-13	12-04-17
*Óxido de Sodio (Na <sub>2</sub> O)	%	0,15	Método Interno AA EPA 3050 B	12-04-20	12-04-20
*Óxido de Potasio (K <sub>2</sub> O)	%	1,79	Método Interno AA EPA 3050 B	12-04-20	12-04-20
* Humedad	%	26,10	Método Interno Gravimétrico	12-05-02	12-05-04

Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de acreditación del OAE

El presente informe solo afecta a los objetos sometidos a ensayo. Muestras detalladas según especificación del cliente

Nos responsabilizamos solamente de los análisis de las muestras recibidas en el LABFIGEMPA.

Documento válido únicamente con el sello seco de la Institución. El LABFIGEMPA no se responsabiliza de la reproducción parcial o total del mismo.

2. RESPONSABLES DEL ANALISIS: Quím. Gabriel Cevallos, Ing. Verónica Rodríguez

Quím. GABRIEL CEVALLOS GONZALEZ  
Director encargado LABFIGEMPA





# UNIVERSIDAD DE CUENCA



## UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA, MINAS, PETRÓLEOS Y AMBIENTAL

### LABFIGEMPA INFORME DE RESULTADOS

Cliente: SWISSCONTACT  
Dirección: Flores Jijón N 17-185 y Sotomayor  
Teléfono: 2 923 101  
Atención: Ing. Sandra Gavilanez

Número de Informe: 12-066  
Fecha de informe: 12-05-18  
Recep. Laboratorio: 12-04-09  
Nº de muestras entregadas: 8 muestras sólidas

#### 1. RESULTADOS ANALITICOS:

Identificación de la muestra:		SÓLIDO: MUESTRA Nº 4			
Parámetros	Unidad	Valor	Método Aplicado	Fechas de ensayo	
				Inicial	Final
*Pérdida por Calcinación (PxC)	%	8,95	Método Interno Gravimétrico	12-04-13	12-04-19
*Óxido de Silicio (SiO <sub>2</sub> + insolubles)	%	59,3	Método Interno Gravimétrico	12-05-03	12-05-04
*Óxido Férrico (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	%	11,93	Método Interno AA	12-04-20	12-04-20
*Óxido de Aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	%	16,92	Método Interno AA EPA 3050 B	12-04-20	12-04-20
*Óxido de Calcio (CaO)	%	< 0,06	Método Interno AA EPA 3050 B	12-04-20	12-04-20
*Óxido de Magnesio (MgO)	%	0,28	Método Interno AA EPA 3050 B	12-04-20	12-05-11
*Sulfitos (SO <sub>2</sub> )	%	0,05	Método Interno Turbidimétrico	12-04-13	12-04-17
*Óxido de Sodio (Na <sub>2</sub> O)	%	1,47	Método Interno AA EPA 3050 B	12-04-20	12-04-20
*Óxido de Potasio (K <sub>2</sub> O)	%	0,98	Método Interno AA EPA 3050 B	12-04-20	12-04-20
* Humedad	%	16,30	Método Interno Gravimétrico	12-05-02	12-05-04

Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de acreditación del OAE

El presente informe solo afecta a los objetos sometidos a ensayo. Muestras detalladas según especificación del cliente

Nos responsabilizamos solamente de los análisis de las muestras recibidas en el LABFIGEMPA.

Documento válido únicamente con el sello seco de la Institución. El LABFIGEMPA no se responsabiliza de la reproducción parcial o total del mismo.

2. RESPONSABLES DEL ANALISIS: Quím. Gabriel Cevallos, Ing. Verónica Rodríguez

Quím. GABRIEL CEVALLOS GONZALEZ  
Director encargado LABFIGEMPA

Ciudad Universitaria - Gerónimo Leiton y Av. La Gasca - Casilla 872-A - Telfs.: 2550-588 2566-726  
Fax: 2500-306 2566-738 - E-mail: decanato.figempa@yahoo.com - Quito-Ecuador





# UNIVERSIDAD DE CUENCA



**UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA, MINAS, PETRÓLEOS Y AMBIENTAL**  
**LABFIGEMPA**  
**INFORME DE RESULTADOS**

Cliente: SWISSCONTACT  
Dirección: Flores Jijón N 17-185 y Sotomayor  
Teléfono: 2 923 101  
Atención: Ing. Sandra Gavilanez

Número de Informe: 12-066  
Fecha de informe: 12-05-18  
Recep. Laboratorio: 12-04-09  
Nº de muestras entregadas: 8 muestras sólidas

## 1. RESULTADOS ANALÍTICOS:

Identificación de la muestra:		SÓLIDO: MUESTRA 1 A			
Parámetros	Unidad	Valor	Método Aplicado	Fechas de ensayo	
				Inicial	Final
*Pérdida por Calcinación (PxC)	%	11,3	Método Interno Gravimétrico	12-04-13	12-04-19
*Óxido de Silicio (SiO <sub>2</sub> + insolubles)	%	57,2	Método Interno Gravimétrico	12-05-03	12-05-04
*Óxido Férrico (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	%	10,39	Método Interno AA	12-04-20	12-04-20
*Óxido de Aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	%	20,17	Método Interno AA EPA 3050 B	12-04-20	12-04-20
*Óxido de Calcio (CaO)	%	< 0,06	Método Interno AA EPA 3050 B	12-04-20	12-04-20
*Óxido de Magnesio (MgO)	%	0,07	Método Interno AA EPA 3050 B	12-04-20	12-05-11
*Sulfitos (SO <sub>3</sub> )	%	0,03	Método Interno Turbidimétrico	12-04-13	12-04-17
*Óxido de Sodio (Na <sub>2</sub> O)	%	0,30	Método Interno AA EPA 3050 B	12-04-20	12-04-20
*Óxido de Potasio (K <sub>2</sub> O)	%	0,46	Método Interno AA EPA 3050 B	12-04-20	12-04-20
* Humedad	%	14,40	Método Interno Gravimétrico	12-05-02	12-05-04

Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de acreditación del OAE

El presente informe solo afecta a los objetos sometidos a ensayo. Muestras detalladas según especificación del cliente

Nos responsabilizamos solamente de los análisis de las muestras recibidas en el LABFIGEMPA.

Documento válido únicamente con el sello seco de la Institución. El LABFIGEMPA no se reponsabiliza de la reproducción parcial o total del mismo.

2. RESPONSABLES DEL ANALISIS: Quím. Gabriel Cevallos, Ing. Verónica Rodríguez

  
Quím. GABRIEL CEVALLOS GONZALEZ  
Director encargado LABFIGEMPA

Ciudad Universitaria - Gerónimo Leiton y Av. La Gasca - Casilla 872-A - Telfs.: 2550-588 2566-726  
Fax: 2500-306 2566-738 - E-mail: decanato.figempa@yahoo.com - Quito-Ecuador





# UNIVERSIDAD DE CUENCA



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA, MINAS, PETRÓLEOS Y AMBIENTAL  
LABFIGEMPA  
INFORME DE RESULTADOS

Cliente: SWISSCONTACT  
Dirección: Flores Jijón N 17-185 y Sotomayor  
Teléfono: 2 923 101  
Atención: Ing. Sandra Gavilanez

Número de Informe: 12-066  
Fecha de informe: 12-05-18  
Recep. Laboratorio: 12-04-09  
Nº de muestras entregadas: 8 muestras sólidas

## 1. RESULTADOS ANALÍTICOS:

Identificación de la muestra:		SÓLIDO: MUESTRA 2 A			
Parámetros	Unidad	Valor	Método Aplicado	Fechas de ensayo	
				Inicial	Final
*Pérdida por Calcinación (PxC)	%	14,1	Método Interno Gravimétrico	12-04-13	12-04-19
*Óxido de Silicio (SiO <sub>2</sub> + insolubles)	%	53,0	Método Interno Gravimétrico	12-05-03	12-05-04
*Óxido Férrico (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	%	8,27	Método Interno AA	12-04-20	12-04-20
*Óxido de Aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	%	23,34	Método Interno AA EPA 3050 B	12-04-20	12-04-20
*Óxido de Calcio (CaO)	%	< 0,06	Método Interno AA EPA 3050 B	12-04-20	12-04-20
*Óxido de Magnesio (MgO)	%	0,27	Método Interno AA EPA 3050 B	12-04-20	12-05-11
*Sulfitos (SO <sub>3</sub> )	%	< 0,01	Método Interno Turbidimétrico	12-04-13	12-04-17
*Óxido de Sodio (Na <sub>2</sub> O)	%	0,19	Método Interno AA EPA 3050 B	12-04-20	12-04-20
*Óxido de Potasio (K <sub>2</sub> O)	%	0,74	Método Interno AA EPA 3050 B	12-04-20	12-04-20
* Humedad	%	14,20	Método Interno Gravimétrico	12-05-02	12-05-04

Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de acreditación del OAE

El presente informe solo afecta a los objetos sometidos a ensayo. Muestras detalladas según especificación del cliente

Nos responsabilizamos solamente de los análisis de las muestras recibidas en el LABFIGEMPA.

Documento válido únicamente con el sello seco de la Institución. El LABFIGEMPA no se responsabiliza de la reproducción parcial o total del mismo.

2. RESPONSABLES DEL ANALISIS: Quím. Gabriel Cevallos, Ing. Verónica Rodríguez

Quím. GABRIEL CEVALLOS GONZALEZ  
Director encargado LABFIGEMPA

Ciudad Universitaria - Gerónimo Leiton y Av. La Gasca - Casilla 872-A - Telfs.: 2550-588 2566-726  
Fax: 2500-306 2566-738 - E-mail: decanato.figempa@yahoo.com - Quito-Ecuador







# UNIVERSIDAD DE CUENCA



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA, MINAS, PETRÓLEOS Y AMBIENTAL  
LABFIGEMPA  
INFORME DE RESULTADOS

Cliente: SWISSCONTACT  
Dirección: Flores Jijón N 17-185 y Sotomayor  
Teléfono: 2 923 101  
Atención: Ing. Sandra Gavilanez

Número de Informe: 12-066  
Fecha de informe: 12-05-18  
Recep. Laboratorio: 12-04-09  
Nº de muestras entregadas: 8 muestras sólidas

## 1. RESULTADOS ANALITICOS:

Identificación de la muestra:		SÓLIDO: MUESTRA Mz LC		Fechas de ensayo	
Parámetros	Unidad	Valor	Método Aplicado	Inicial	Final
*Pérdida por Calcinación (PxC)	%	10,7	Método Interno Gravimétrico	12-04-13	12-04-19
*Óxido de Silicio (SiO <sub>2</sub> + insolubles)	%	58,3	Método Interno Gravimétrico	12-05-03	12-05-04
*Óxido Férrico (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	%	7,06	Método Interno AA	12-04-20	12-04-20
*Óxido de Aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	%	21,14	Método Interno AA EPA 3050 B	12-04-20	12-04-20
*Óxido de Calcio (CaO)	%	< 0,06	Método Interno AA EPA 3050 B	12-04-20	12-04-20
*Óxido de Magnesio (MgO)	%	0,23	Método Interno AA EPA 3050 B	12-04-20	12-05-11
*Sulfitos (SO <sub>3</sub> )	%	0,01	Método Interno Turbidimétrico	12-04-13	12-04-17
*Óxido de Sodio (Na <sub>2</sub> O)	%	0,77	Método Interno AA EPA 3050 B	12-04-20	12-04-20
*Óxido de Potasio (K <sub>2</sub> O)	%	1,70	Método Interno AA EPA 3050 B	12-04-20	12-04-20
* Humedad	%	5,77	Método Interno Gravimétrico	12-05-02	12-05-04

Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de acreditación del OAE

El presente informe solo afecta a los objetos sometidos a ensayo. Muestras detalladas según especificación del cliente

Nos responsabilizamos solamente de los análisis de las muestras recibidas en el LABFIGEMPA.

Documento válido únicamente con el sello seco de la Institución. El LABFIGEMPA no se responsabiliza de la reproducción parcial o total del mismo.

2. RESPONSABLES DEL ANALISIS: Quím. Gabriel Cevallos, Ing. Verónica Rodríguez

Quím. GABRIEL CEVALLOS GONZALEZ  
Director encargado LABFIGEMPA

Ciudad Universitaria - Gerónimo Leiton y Av. La Gasca - Casilla 872-A - Telfs.: 2550-588 2566-726  
Fax: 2500-306 2566-738 - E-mail: decanato.figempa@yahoo.com - Quito-Ecuador





# UNIVERSIDAD DE CUENCA



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA, MINAS, PETRÓLEOS Y AMBIENTAL  
LABFIGEMPA  
INFORME DE RESULTADOS

Cliente: SWISSCONTACT  
Dirección: Flores Jijón N 17-185 y Sotomayor  
Teléfono: 2 923 101  
Atención: Ing. Sandra Gavilanez

Número de Informe: 12-066  
Fecha de informe: 12-05-18  
Recep. Laboratorio: 12-04-09  
Nº de muestras entregadas: 8 muestras sólidas

## 1. RESULTADOS ANALÍTICOS:

Identificación de la muestra:		SÓLIDO: MUESTRA Mz MR		Fechas de ensayo	
Parámetros	Unidad	Valor	Método Aplicado	Inicial	Final
*Pérdida por Calcinación (PxC)	%	9,32	Método Interno Gravimétrico	12-04-13	12-04-19
*Óxido de Silicio (SiO <sub>2</sub> + insolubles)	%	57,6	Método Interno Gravimétrico	12-05-03	12-05-04
*Óxido Férrico (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	%	8,85	Método Interno AA	12-04-20	12-04-20
*Óxido de Aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	%	22,27	Método Interno AA EPA 3050 B	12-04-20	12-04-20
*Óxido de Calcio (CaO)	%	< 0,06	Método Interno AA EPA 3050 B	12-04-20	12-04-20
*Óxido de Magnesio (MgO)	%	0,16	Método Interno AA EPA 3050 B	12-04-20	12-05-11
*Sulfitos (SO <sub>3</sub> )	%	0,01	Método Interno Turbidimétrico	12-04-13	12-04-17
*Óxido de Sodio (Na <sub>2</sub> O)	%	0,36	Método Interno AA EPA 3050 B	12-04-20	12-04-20
*Óxido de Potasio (K <sub>2</sub> O)	%	1,35	Método Interno AA EPA 3050 B	12-04-20	12-04-20
* Humedad	%	5,16	Método Interno Gravimétrico	12-05-02	12-05-04

Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de acreditación del OAE

El presente informe solo afecta a los objetos sometidos a ensayo. Muestras detalladas según especificación del cliente

Nos responsabilizamos solamente de los análisis de las muestras recibidas en el LABFIGEMPA.

Documento válido únicamente con el sello seco de la Institución. El LABFIGEMPA no se responsabiliza de la reproducción parcial o total del mismo.

2. RESPONSABLES DEL ANALISIS: Quím. Gabriel Cevallos, Ing. Verónica Rodríguez

Quím. GABRIEL CEVALLOS GONZALEZ  
Director encargado LABFIGEMPA

Ciudad Universitaria - Gerónimo Leiton y Av. La Gasca - Casilla 872-A - Telfs.: 2550-588 2566-726  
Fax: 2500-306 2566-738 - E-mail: decanato.fiempa@uahoo.com - Quito-Ecuador







## UNIVERSIDAD DE CUENCA

UNIVERSIDAD DE CUENCA

### REPORTE DE RESULTADOS

**CLIENTE:** SWISSCONTACT  
**MUESTRAS:** MATERIALES (6)  
**FECHA:** 2012-12-11

Porcentaje de Contracción			
MATERIAL	% Contracción al secado	% Contracción a la Quema	% Contracción Total
1	6,75	0,16	6,90
2	7,25	1,08	8,25
3	7,05	0,00	7,05
4	7,50	0,00	7,50
5	7,60	0,03	7,63
6	7,10	0,05	7,15

### **OBSERVACIONES:**

1. Por acuerdo con el cliente el tamiz utilizado para la elaboración de placas es malla 40 ASTM. El ciclo de quema programado fue de 20°C a 900°C durante un tiempo de 3 horas y a 900°C un tiempo de mantenimiento de 2 horas.

Responsable análisis

Directora

cc. archivo

Universidad de Cuenca, sector Balzain- Telefax: (07) 4089561  
Cuenca - Ecuador

Email: [cesemin@ucuenca.edu.ec](mailto:cesemin@ucuenca.edu.ec)  
<http://rai.ucuenca.edu.ec/cesemin/>



## UNIVERSIDAD DE CUENCA



**CESEMIN**  
Centro de Servicios y Análisis de Minerales  
Metálicos y No Metálicos  
**UNIVERSIDAD DE CUENCA**

### REPORTE DE RESULTADOS

**CLIENTE:** SWISSCONTACT  
**MUESTRAS:** MATERIALES (6)  
**FECHA:** 2012-12-11

Porcentaje de Absorción de Agua	
MATERIAL	% AA
1	17,43
2	15,79
3	16,21
4	15,53
5	15,93
6	15,06

### **OBSERVACIONES:**

1. Las muestras fueron sumergidas en agua a ebullición durante 2 horas y luego se mantuvieron sumergidas durante 24 horas.
2. Por acuerdo con el cliente el tamiz utilizado para la elaboración de placas es malla 40 ASTM. y el ciclo de quema es de 20°C a 900°C durante 3 horas y a 900°C un tiempo de mantenimiento de 2 horas.

Responsable análisis

Directora

cc. archivo



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

### ANALISIS TECNICO CERAMICOS

#### DETERMINACION DE LA PLASTICIDAD

CLIENTE: SWISSCONTACT  
MATERIAL: MUESTRA 1  
Fecha: 2012-12-10  
METODO DE ENSAYO: NORMA: ASTM D 4318-95 (Casa Grande)

RESULTADOS	
LIMITE LIQUIDO	24,99
LIMITE PLASTICO	19,44
INDICE DE PLASTICIDAD	5,54

OBSERVACIONES:

  
RESP. ANÁLISIS

  
DIRECTOR

cc. Archivo

Universidad de Cuenca, sector Balzain- Telefax: (07) 408-9561  
Cuenca - Ecuador

Email: [cesemin@ucuenca.edu.ec](mailto:cesemin@ucuenca.edu.ec)  
<http://rai.ucuenca.edu.ec/informacion/>



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

Metálicos y No Metálicos

### ANALISIS TECNICO CERAMICOS

#### DETERMINACION DE LA PLASTICIDAD

CLIENTE: SWISSCONTACT  
MATERIAL: MUESTRA 2  
Fecha: 2012-12-10  
METODO DE ENSAYO: NORMA: ASTM D 4318-95 (Casa Grande)

RESULTADOS	
LIMITE LIQUIDO	29,15
LIMITE PLASTICO	18,75
INDICE DE PLASTICIDAD	10,40

OBSERVACIONES:

  
RESP. ANÁLISIS

  
DIRECTOR

cc. Archivo

Universidad de Cuenca, sector Balzain- Telefax: (07) 408-9561  
Cuenca - Ecuador

Email: [cesemin@ucuenca.edu.ec](mailto:cesemin@ucuenca.edu.ec)  
<http://rai.ucuenca.edu.ec/cesemin/>



## UNIVERSIDAD DE CUENCA



Centro de Servicios y Materiales de Laboratorio  
Metálicos y No Metálicos

### ANALISIS TECNICO CERAMICOS DETERMINACION DE LA PLASTICIDAD

CLIENTE: SWISSCONTACT  
MATERIAL: MUESTRA 3  
Fecha: 2012-12-10  
METODO DE ENSAYO: NORMA: ASTM D 4318-95 (Casa Grande)

RESULTADOS	
LIMITE LIQUIDO	24,32
LIMITE PLASTICO	17,10
INDICE DE PLASTICIDAD	7,22

OBSERVACIONES:

RESP. ANÁLISIS

DIRECTOR

cc. Archivo

Universidad de Cuenca, sector Balzain- Telefax: (07) 408-9561  
Cuenca - Ecuador

Email: [cesemin@ucuenca.edu.ec](mailto:cesemin@ucuenca.edu.ec)  
<http://rai.ucuenca.edu.ec/cesemin/>



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

### ANALISIS TECNICO CERAMICOS DETERMINACION DE LA PLASTICIDAD

CLIENTE: SWISSCONTACT  
MATERIAL: MUESTRA 4  
Fecha: 2012-12-10  
METODO DE ENSAYO: NORMA: ASTM D 4318-95 (Casa Grande)

RESULTADOS	
LIMITE LIQUIDO	26,17
LIMITE PLASTICO	17,58
INDICE DE PLASTICIDAD	8,59

OBSERVACIONES:

RESP. ANÁLISIS

DIRECTOR

cc. Archivo

Universidad de Cuenca, sector Balzain- Telefax: (07) 408-9561  
Cuenca - Ecuador

Email: [cesemin@ucuenca.edu.ec](mailto:cesemin@ucuenca.edu.ec)  
<http://rai.ucuenca.edu.ec/cesemin/>





## UNIVERSIDAD DE CUENCA



Metálicos y No Metálicos

### ANÁLISIS TÉCNICO CERÁMICOS DETERMINACIÓN DE LA PLASTICIDAD

CLIENTE: SWISSCONTACT  
MATERIAL: MUESTRA 5  
Fecha: 2012-12-10  
MÉTODO DE ENSAYO: NORMA: ASTM D 4318-95 (Casa Grande)

RESULTADOS	
LÍMITE LÍQUIDO	23,84
LÍMITE PLÁSTICO	17,25
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	6,59

OBSERVACIONES:

RESP. ANÁLISIS

DIRECTOR

cc. Archivo

Universidad de Cuenca, sector Balzain- Telefax: (07) 408-9561  
Cuenca - Ecuador

Email: [cesemin@ucuenca.edu.ec](mailto:cesemin@ucuenca.edu.ec)  
<http://rai.ucuenca.edu.ec/cesemin/>



## UNIVERSIDAD DE CUENCA



Metálicos y No Metálicos

### ANALISIS TECNICO CERAMICOS DETERMINACION DE LA PLASTICIDAD

CLIENTE: SWISSCONTACT  
MATERIAL: MUESTRA 6  
Fecha: 2012-12-10  
METODO DE ENSAYO: NORMA:ASTM D 4318-95 (Casa Grande)

RESULTADOS	
LIMITE LIQUIDO	24,36
LIMITE PLASTICO	18,76
INDICE DE PLASTICIDAD	5,60

OBSERVACIONES:

RESP. ANALISIS

DIRECTOR

cc. Archivo

Universidad de Cuenca, sector Balzain- Telefax: (07) 408-9561  
Cuenca - Ecuador

Email: [cesemin@ucuenca.edu.ec](mailto:cesemin@ucuenca.edu.ec)  
<http://rai.ucuenca.edu.ec/cesemin/>